

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta
KATEDRA GEOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro
účely hloubení ropných vrtů.

The Utilization of „Casing while Drilling“
Technology for Oil Well Drilling.

diplomová práce

Autor:

Bc. Filip Ševčík

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Martin Klempa, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Katedra geologického inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Filip Ševčík

Studijní program:

N2110 Geologické inženýrství

Studijní obor:

2101T003 Geologické inženýrství

Téma:

Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení
ropných vrtů
The Utilization of “Casing while Drilling” Technology for Oil Well
Drilling

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristika technologie „vrtání za současného pažení“
3. Srovnání technologie „vrtání za současného pažení“ s klasickými postupy při hloubení a vystrojování ropných vrtů
4. Zhodnocení provozních zkušeností s technologií „vrtání za současného pažení“
5. Závěr

Rozsah závěrečné práce 50 – 70 normostran.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Gabolde, G.; Nguyen, J.-P.: Drilling Data Handbook. Editions TECHNIP, Paris, France, 2014. ISBN: 978-2-7108-0971-5
- Lyons, W.; Carter, T.; Lapeyrouse, N.: Formulas and Calculations for Drilling, Production and Workover. Elsevier, USA, 2012. ISBN: 978-1-85617-929-4
- Zeman, V.; Pinka, J.; Klempa, M.; Struna, J.: Technika a technologie vrtných prací – I. díl Technika pro provádění vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3.
- Zeman, V.; Pinka, J.; Klempa, M.; Struna, J.: Technika a technologie vrtných prací – II. díl Základy technologie vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Klempa, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



prof. Ing. Petr Skupien, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 5. 2020

Bc. Filip Ševčík



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Martinovi Klempovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a jeho cenné rady. Dále bych rád poděkoval zaměstnavateli za umožnění studia při zaměstnání a také kolegům z MND Drilling & Services, a.s. za poskytnutí odborných rad.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svému nadřízenému Ing. Janu Duroňovi za jeho shovívavost vůči mé snaze skloubit studium s řádným plněním mých pracovních povinností a cenné rady při vypracování diplomové práce, rodině děkuji za podporu při studiu.

ANOTACE

Konvenční metody vrtání se potýkají s velkými provozními a finančními výzvami, jako jsou náklady na nákup, inspekce, manipulace, přeprava vrtného zařízení a co je nejdůležitější, zapouštění a tažení vrtné sestavy, kdykoli je potřeba vyměnit spodní část vrtné sestavy (BHA), potřeba tažení s proplachem nebo dosažení celkové hloubky. Tažení a zapouštění vrtné sestavy nejen přispívá k neplacenému času (NPT), ale také vede k obtížím s kontrolou, včetně nestability vrtání a možné ztrátě cirkulace. To vše vedlo ropný a plynárenský průmysl, také ale i strojírenský průmysl, k hledání nových způsobů a metod, aby se tyto problémy snížily. Díky pokroku v technických řešeních a neustálému zlepšování konvenčních metod vrtání byla vyvinuta nová metoda vrtání – pažení za současného vrtání. Pažení při vrtání zahrnuje proces souběžného vrtání a zapažení vrtu, použití aktivního pažení a tím optimalizaci výroby. Tato diplomová práce představuje přehled metody pažení při vrtání (CwD) a její praktické využití ve vrtání vrtů. Je také uvedeno srovnání konvenční metody vrtání a vrtání za současného pažení. Metoda CwD dosahuje výrazně lepších výsledků než konvenční metoda vrtání.

Klíčová slova: Pažení, Vrtání, Vrtání za současného pažení (CwD)

SUMMARY

Conventional drilling methods have been plagued with huge operational and financial challenges, such as cost of purchasing, inspecting, handling, transporting the drill equipment and most importantly, tripping in-and-out of the drill string whenever the Bottom Hole Assembly (BHA) needs a replacement, needs of wiper trip or when total depth is reached. The tripping in-and-out of the drill string not only contributes to Non Productive Time (NPT) but also leads to well control difficulties including wellbore instability and lost circulation. All this has led Oil and Gas industry, as well as any other engineering industry, to seek for new ways and methods in order to reduce these problems. Thanks to the advances in technical solutions and constant improvements of conventional drilling methods, a new drilling method - casing while drilling has been developed. Casing Drilling encompasses the process of simultaneously drilling and casing a well, using the active casing and thus optimizes the production. That thesis presents a review of casing while drilling method (CwD) and its practical usage in drilling wells. The comparison of conventional drilling method and casing while drilling is also presented. The CwD method achieves significantly better results than conventional drilling method.

Key words: Casing, Drilling, Casing while Drilling (CwD)

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 2 |
| 2 | Charakteristika technologie „vrtání za současného pažení“ | 3 |
| 2.1 | Neměnitelný systém – bez BHA | 4 |
| 2.1.1 | Vrtná pata pažnic – Drilling Shoe..... | 6 |
| 2.1.2 | Vsuvka pažnicové kolony | 7 |
| 2.1.3 | Centrátory | 8 |
| 2.2 | Vyměnitelný systém BHA | 9 |
| 2.2.1 | Vrtný zámek v sestavě na pažnicové koloně (DLA)..... | 12 |
| 3 | Srovnání technologie „vrtání za současného pažení“ s klasickými postupy při hloubení a vystrojování ropných vrtů | 13 |
| 3.1 | Vrtná souprava Bentec 250 AC..... | 14 |
| 3.2 | Řízený pažnicový systém (CDS)..... | 18 |
| 3.3 | Příprava vrtné soupravy k pažení bez systému CwD..... | 20 |
| 3.3.1 | Přípravné práce před pažením | 21 |
| 3.3.2 | Zapouštění pažnic | 24 |
| 3.4 | Plánování vrtu a typu pažnic | 28 |
| 3.4.1 | Přenesení zatížení na spodní část vrtné sestavy - Buckling..... | 36 |
| 3.4.2 | Únava pažnic | 38 |
| 3.4.3 | Pažnicové spoje „spojníky“ a závity..... | 38 |
| 3.4.4 | Ochrana pažnicového spoje..... | 39 |
| 3.4.5 | Hydraulika ve vrtu | 40 |
| 3.4.6 | Analýza krouticího momentu a odporu..... | 41 |
| 3.4.7 | Vibrace pažnicové kolony | 43 |
| 4 | Zhodnocení provozních zkušeností s technologií „vrtání za současného pažení“ | 44 |
| 4.1 | Důvody pro použití systému SDL | 45 |
| 4.2 | Konstatování o teorii a definicích..... | 46 |
| 4.3 | Popis aplikovaného zařízení a procesů | 47 |
| 4.4 | Využití systému SDL ve Francii | 51 |
| 4.5 | Vrtání sekce 7“ „Steerable Drilling Liner“ (SDL)..... | 54 |
| 4.5.1 | Postup při zapouštění lineru a BHA..... | 54 |
| 5 | Závěr | 57 |

1 Úvod

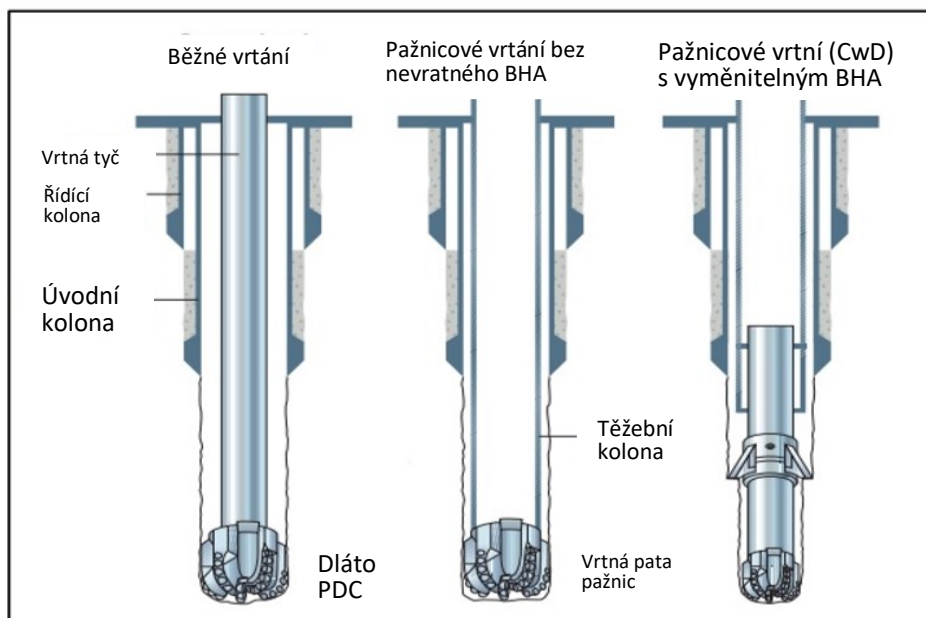
Koncem 90. let minulého století byla v odvětví O&G přijata myšlenka pažení během vrtání. Konvenční způsob vrtání vrtů byl spojen s výzvami, jako jsou náklady na zařízení, kontrola a manipulace s vrtnou kolonou. Častým problémem je tažení a zapouštění vrtné sestavy, kdykoli je třeba vyměnit spodní část vrtné sestavy (BHA) nebo když je dosaženo celkové hloubky. Kdykoliv nastane problém na vrtné koloně, ať už je to ve spodní části, což bývají nejčastější příčiny nebo se může problém vyskytnout i na některém spoji vrtných tyčí. Toto všechno vede k neproduktivní době (NPT) celé vrtné soupravy. Jde ale i o velký problém s kontrolou vrtu, jako je nestabilita vrtu a ztráta cirkulace - výplachu (cirkulačního média). Vzhledem k tomu, že tyto problémy musely být vyřešeny, bylo zapotřebí nové metody - pažení během vrtání (CwD) – aby se zamezilo řešení pozdějších problémů, jako je například uvíznutí vrtné kolony na počvě vrtu.

První kroky při vývoji této nové metody byly provedeny v 90. letech 20. století, kdy inženýři použili nový přístup, založený na rotačním vrtném procesu pro vrtání vrtů za současného pažení, kde se ve vrtné sestavě nacházel hydraulický rozšiřovač, který vrtaný otvor před patou pažnic rozšiřoval na daný průměr. O několik desetiletí později, přesně v roce 1926, byl představen nový patent, který obsahoval obnovitelné a znovu spustitelné pažnicové dláto. Přestože nebyl dosud přijat velmi dobře, měl tento patent řadu výhod. Některé z těchto výhod byly: odstranění vrtné kolony, která byla na vrtných tyčích, zkrácení celkové doby vrtání, nižší počet uvíznutí vrtných tyčí nebo vrtné sestavy na počvě vrtu, snížení počtu členů osádky a náklady na vrtání nebo cena samotné vrtné soupravy. Aplikace pažnicového vrtání, kdy místo vrtných tyčí jsou používány samotné pažnice, vedla ke snížení výskytu nehod na vrtné soupravě a schopnost dovézt se do požadovaných hloubek nových vrtů, bez uvíznutí vrtné kolony ve vrtu. Tyto výhody, byly poprvé uznány společností Brown Oil Tools Company. V 60. letech 20. století, byl vyvinut směrový systém pažení vrtů, který zahrnoval nástroje pro klasické vrtání s dlátem na počvě vrtu, kdy na vrtné koloně byl závěs pro pažnicovou kolonu a pod kolonou pažnic bylo ještě BHA, tento systém vrtání aplikovali při vrtání vrtu. Tento směrový systém pažení vrtů je považován za předchůdce dnešních špičkových pohonných systémů, včetně směrového systému pažení Tesco, který je nyní standardem pro pažení za současného vrtání. Systém Tesco byl úspěšný ve snižování nákladů na vrty a eliminování neproduktivní doby ve vrtném průmyslu.

2 Charakteristika technologie „vrtání za současného pažení“

Pažnicové vrtání, jinak známé jako Drilling with Casing (DwC) nebo pažení za současného vrtání Casing while Drilling (CwD), je alternativní technikou vrtání k běžné metodě vrtání. Vrtání s pažnicemi zahrnuje současné vrtání a pažení vrtu s pažnicovou kolonou. Je nutné si uvědomit, že pažnice mají stejnou jakost a hmotnost jako u konvenčních (běžných) vrtných operací. S ohledem na to nevznikají na řetězec pažnic žádné další náklady. [1]

Pažnicová kolona nahrazuje vrtnou kolonu s vrtnými tyčemi a dalšími částmi vrtné kolony používané při konvenčním vrtání vrtů (silnostěnné vrtné tyče - HWDP, zátěžky,...), čímž vrtnému nástroji na počvě vrtu (valivé dláto, PDC korunka, pata pažnic s korunkou) poskytuje potřebnou hydraulickou a mechanickou energii. Toto snížení manipulace s vrtnými tyčemi zvyšuje bezpečnost na pracovišti a umožňuje vrtným společnostem používat soupravy standardní velikosti nebo menší soupravy vyrobené speciálně pro vrtání s pažnicemi. Pažnice se obvykle uvádí do rotačního pohybu, jako když se vrtá s běžnou vrtnou sestavou (dláto, zátěžky, HWDP a vrtné tyče). Tato kolona pažnic vrtu se cementuje v celkové hloubce (TD), ale dnes existuje mnoho vyvinutých modelů pro vrtání s pažnicemi. Obecně lze tyto modely rozdělit do dvou hlavních kategorií, jak ukazuje Obrázek 1. [1]



Obrázek 1: Konvenční vrtání a pažnicové vrtání (Zdroj: Drillingformulas.com)

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

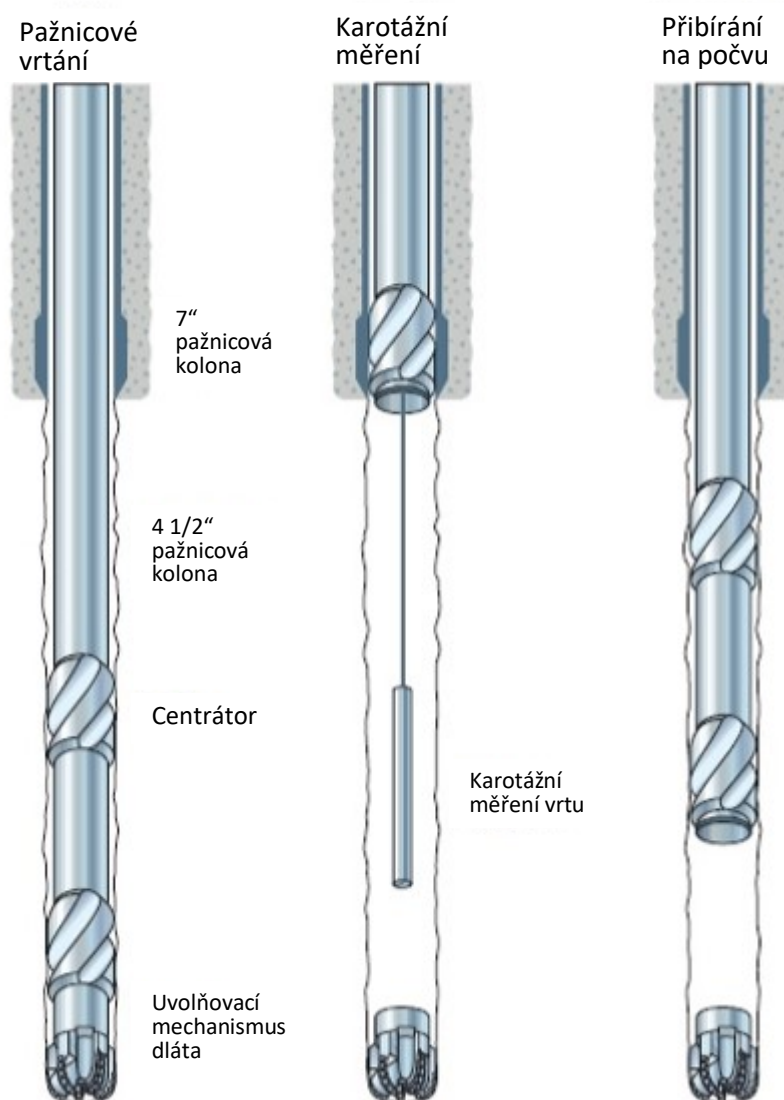
V roce 2001 společnosti BP a Tesco ohlásily úspěch pomocí pažení za současného vrtání úvodních a technických kolon pro 15 plynových vrtů v oblasti Wamsutter ve Wyomingu v USA. Tyto vrty se pohybovaly v hloubce od 8200 ft do 9500 ft. (2499 m až 2896 m). Přibližně ve stejnou dobu společnost Shell Exploration and Production Company dramaticky zlepšila vrtací výkon v jižním Texasu vrtáním „underbalance drilling“ (udržení stejného tlaku na ústí vrtu jako je tlak ložiskový), čímž došlo ke snížení nákladů asi o 30%.

Do roku 2005 operátoři vrtali více než 2000 vrtů pomocí pažnicového vrtání. Více než 1020 těchto vrtů zahrnovalo vertikální vrtání s pažnicemi a neměnitelnými dláty na spodní části těchto kolon, asi 620 bylo vyvrtáno principem usazení „lineru“, více než 400 použilo spodní část vrtné kolony, kterou lze vytáhnout na povrch, pro vertikální vrtání a asi 12 použilo tu samou technologii pro směrové vrtání. Všechny tyto nové aplikace pomohly při vrtání vyvinout z nové technologie s neprokázanou spolehlivostí na praktické řešení, které může snížit náklady, zvýšit účinnost vrtání a minimalizovat neplacený čas souprav a lidí na projektu. [1]

2.1 Neměnitelný systém – bez BHA

Neměnitelný vrtný systém pažnicového vrtání využívá k otáčení pažnicové kolony zařízení Top Drive (TDS) a systém řízení pažnic, který otáčí pažnicemi Casing Drive (CDS). Jednotlivé kusy pažnic jsou z pažnicových mostků zvednuty na pracovní plošinu (poval), kde jsou umístěny do vyvrtané pomocné díry. TDS je připojen vždy na horní část pažnice s funkcí prodloužení, odvrtaný kus pažnice se usadí do rotačního stolu pomocí klínů, kde je TDS odpojen, poté je našroubován další kus pažnice, který je ve spoji dotažen na určený dotah. Pak je znovu připojen TDS do horní části pažnicové kolony a obvyklým způsobem svrtán dolů. [9]

Neměnitelnou nebo pevnou sestavu lze použít k vrtání krátkých linerů nebo celých pažnicových kolon. Běžné vrtné dláty vrtných kolon jsou nahrazeny vrtnou patou pažnic, která zůstává ve vrtu po dosažení TD – očekávané hloubky vrtu. Dláto může zůstat na spodu pažnicové kolony a může být zacementováno v tomto místě vrtu, nebo může být uvolněno a ponecháno na počevě vrtu, aby umožnilo karotážní měření ve vrtu, které je zobrazeno na Obrázek 2. [9]



Obrázek 2: Způsob karotážního měření po dovrtnání pažnicové kolony (Zdroj: Drillingformulas.com)

Tyto systémy se obvykle využívají při vrtání svislých vrtů s různými problémy známými při konvenčním vrtání. Omezení těchto systémů by mohla být TD (intervalu vrtání s jedním dlátem) a zkrut pažnicové kolony ve vrtu. [9]

Neměnitelné systémy BHA mohou být složeny z různých nástrojů v závislosti na podmínkách vrtání. Důležité jsou dláta v závislosti na geologii vrtu a trajektorii, vsuvky pažnic, centrátory na pažnicích a kroužek s vysokým točivým momentem na spoji pažnic, který přenáší celý točivý moment do celé kolony. [9]

2.1.1 Vrtná pata pažnic – Drilling Shoe

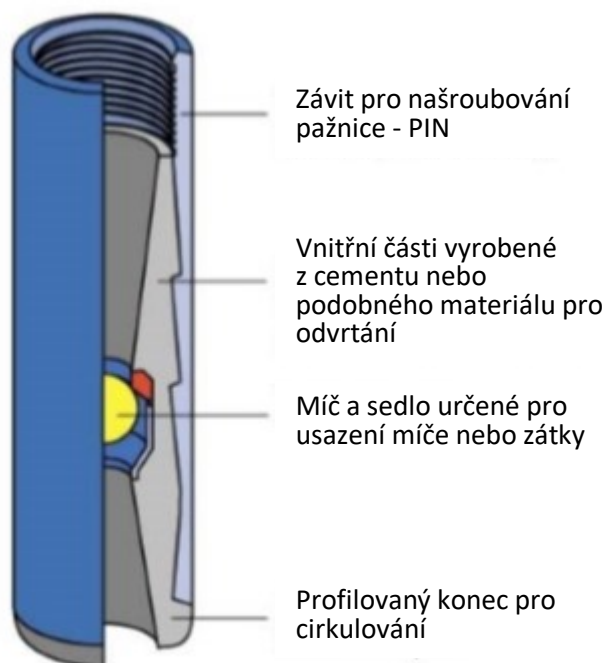
Vrtací pata pažnic, která se používá pro vrtání, vrtá celou trajektorii vrtu, pokud nejde o systém výměny BHA. Vrtací pata pažnic je připevněná ke koloně až k dosažení TD. Neexistuje žádný rozdíl ve výběru těchto typů dlát, jako jsou dláta používaná při konvenčním vrtání, která jsou vybírána dle očekávané geologie vrtu. Na začátku operace CwD se obvykle objevily problémy s dlátem a to správným výběrem, problémy s dynamickou stabilitou a rychlostí vrtání (RPM). Dnes existuje mnoho společností, které inzerují svá vrtná dláta. Společností, která se však nejvíce osvědčila a prokázala své kvality, je rozhodně Weatherford. Weatherford Defyer DPA (Obrázek 3) je dláto (pata pažnic) určené pro vrtání s pažnicemi v měkkých až středně tvrdých formacích. Inovativní design řady DPA zahrnuje volitelný počet břitů a konfigurovatelnou velikost frézy, která vyhovuje typu formace a jejímu použití. Tělo je vyrobeno z oceli a čepele jsou vyrobeny ze speciální slitiny oceli. „Řezačky“ (bity) jsou z polykrystalického diamantu (PDC) a jsou optimálně namontovány na čelní straně dláta, aby se maximalizovala účinnost a životnost při vrtání. [2]



Obrázek 3: Vrtná pata pažnic Weatherford (Zdroj: Weatherford.com)

2.1.2 Vsuvka pažnicové kolony

Vsuvka pažnic (Obrázek 4) bývá zpravidla umístěna 12 – 30 metrů nad vrtnou patou pažnic. Poskytuje sedlo pro cementové zátky, spodní zátku čerpanou před cementem a horní zátku za celým objemem cementu. Po usazení horní zátky uzavře směr toku a zabrání přemístění cementu. Prostor mezi patou pažnic a vsuvkou pažnic poskytuje uzavřenou oblast pro zachycení pravděpodobně kontaminovaných částí cementu z účinku horní zátky, která s sebou stírá zbytky cementu z vnitřní stěny pažnic, čímž se zajistí kontaminovaná tekutina pryč od paty pažnic, kde je primárně důležitá silná cementová vazba. Vsuvky pažnic fungují jako zpětný ventil, který zabraňuje tomu, aby se cement dostal zpět do vnitřního průměru, pažnicové kolony poté, co se cement dostal na povrch, nebo při cementování „lineru“ dosáhl vnitřního průměru pažnic a izoloval obzor menšího průměru pažnic a horní zátky dosedla do místa vsuvky pažnic. [8]



Obrázek 4: Vsuvka pažnic (Zdroj: Drillingformulas.com)

2.1.3 Centrátory

Centrátory používané v technologii CwD mají podobnou roli jako v konvenčním vrtání, liší se však konstrukcí (Obrázek 5).



Centrátor bez tvrdých rysů

Centrátor s tvrdými rysy

Obrázek 5: Hydroformovaný pažnicový centrátor společnosti Schlumberger (Zdroj: Slb.com)

Tyto centrátory byly vyvinuty speciálně pro pažnicový systém vrtání. Používají se zejména k zabránění kontaktu stěny vrtu s tělem pažnicové kolony, kdy by mohlo přijít k opotřebení těla pažnice nebo jednotlivých spojů. [8]

Hydroformované pažnicové centrátory zajišťují správné polohování středů pažnic ve vrtu, pro správné cementování ve svislých a usměrněných vrtech. Centrátory jsou umístěny na vnějším průměru pažnicové kolony, aby se vytvořil odstup mezi pažnicemi a stěnou vrtu nebo pažnicovým „linerem“ a stěnou vrtu. Konstrukce centrátorů podporuje omítací efekt, který posiluje vrty pro efektivní cementové pojivo, které pomáhá dobře chránit integritu. Volitelný karbid wolframu tvrzený na těle centrátorů poskytuje vynikající odolnost proti opotřebení při vrtání abrazivních útvarů. Dostupné velikosti a vlastnosti jsou uvedeny v Tabulka 1. [8]

Tabulka 1: Dostupné velikosti pažnic a vlastnosti centrátorů (Zdroj: Bhge.com)

| Velikost pažnic (palce) | Dostupná velikost | | Počet šroubových čepelí | Maximální velikost šroubových čepelí (palce/mm) |
|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|---|
| | Rotační | Příloha Nerotační | | |
| 4 ½ | ■ | ■ | 2 | 6 ½ [165] |
| 5 | | ■ | 2 | 7 [178] |
| 5 ½ | ■ | ■ | 2 | 7 ½ [191] |
| 6 ¾ | | ■ | 3 | 8 [203] |
| 7 | ■ | ■ | 3 | 9 [229] |
| 7 ¾ | ■ | ■ | 3 | 9 [229] |
| 8 ¾ | ■ | ■ | 3 | 11 [279] |
| 9 ¾ | ■ | ■ | 4 | 12 [305] |
| 10 ¾ | ■ | ■ | 4 | 13 [330] |
| 11 ¾ | | ■ | 4 | 14 [356] |
| 13 ¾ | | ■ | 7 | 16 [406] |

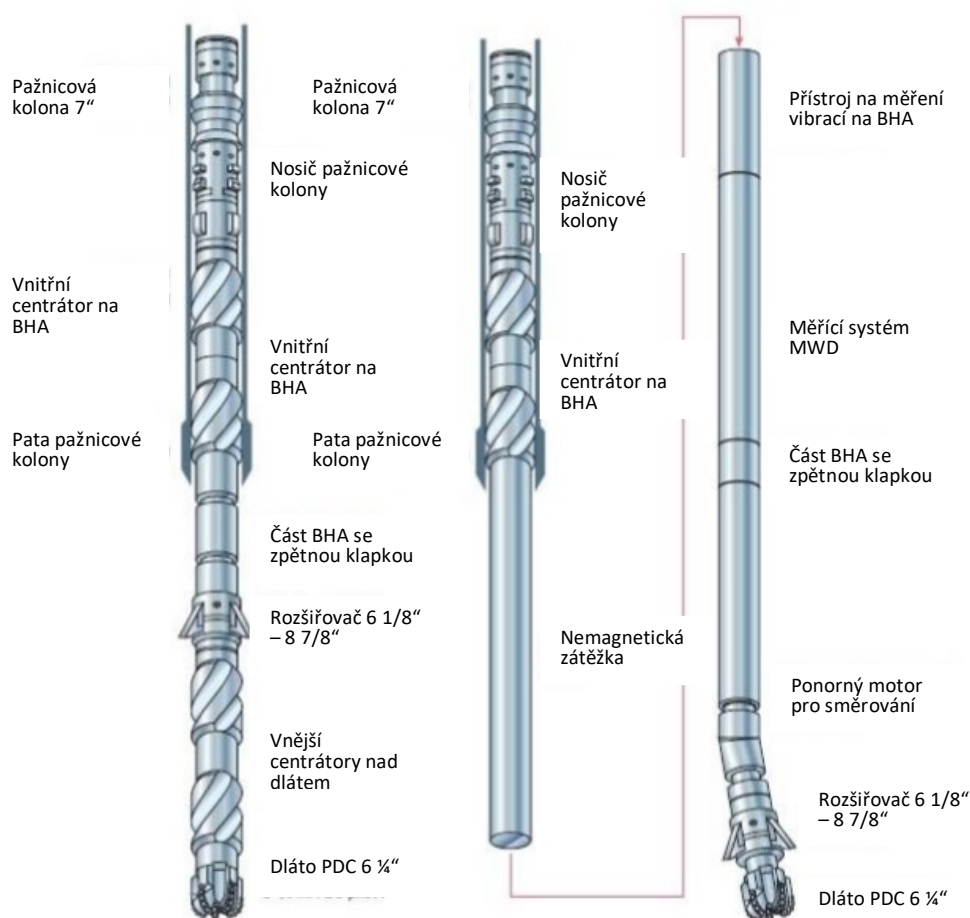
Pažnicová kolona je otáčena Top Drive systémem (TDS) a pažnicovým řídicím systémem (CSD) pro všechny operace s výjimkou náboru křivosti při vrtání (Slide Drilling) s motorem a orientované (směrového) vrtání (Directional Drilling). [8]

2.2 Vyměnitelný systém BHA

Po použití neměnitelných systémů pro vertikální vrtání bylo dalším krokem vpřed aplikace CwD na směrové vrtání a vyměnitelné systémy. Pažnicová kolona zůstává na místě, zatímco lze vyjmout BHA a vytáhnout jen vnitřní vrtnou kolonu na vrtných tyčích. Pro případ neočekávaných problémů ve vrtu se může použít (Coiled Tubing) – nekonečná stupačka nebo (Wireline Cable) - karotážního kabelu, aniž by bylo nutno vypažit zavrtanou pažnicovou kolonu a znovu zapustit vrtné nářadí zpět do vrtu. To představuje praktické řešení, protože komponenty používané pro směrové vrtání, jako jsou MWD, LWD, ponorné motory, RSS, jsou velmi drahé a lze je kdykoli táhnout z vrtu pro jejich elektrickou nebo mechanickou poruchu zpět na povrch. Tyto nástroje lze vyměnit za nový správně fungující díl a znovu zapustit při sklonech vyšších než 90 °. Při takových výměnách na BHA se musí neustále držet proplachování ve vrtu, aby se zajistilo, že se pažnice nezachytily nebo nepřilepily na stěnu vrtu. [8]

Vyměnitelná vrtná sestava otvoru (BHA) pro vertikální vrtání (Obrázek 6, vlevo) zahrnuje pilotní vrták s menším průměrem, který vrtá

vodící otvor, výše je rozšiřovač s rozpínatelnými a zatahovacími vrtnými elementy (packy), kterými rozšiřuje tento počáteční vrt, aby se mohl zapažit požadovaný plný průměr pažnic. Centrátory mezi dlátem na počvě vrtu a rozšiřovačem vrtu udržují sklon vrtu. Horní centrátory umístěné uvnitř pažnic snižují vibrace BHA a chrání část sestavy, kde je umístěn nosič pažnic (DLA) – Drill Lock Assembly, které zajišťují axiální a torzní připojení k pažnicové koloně. Veškeré vybavení je dimenzováno tak, aby prošlo vnitřním otvorem pažnicové kolony. [8]



Obrázek 6: Levý obrázek zobrazuje svislé vrtání a obrázek na pravé straně usměrněné vrtání metodou (CwD) (Zdroj: Drillingformulas.com)

Podle potřeby se používají kromě vrtných dlát a rozšiřovačů i další nástroje pro vrtání vrtů. Pro usměrněné vrtání se do BHA používají říditelné ponorné motory nebo rotační směrovací systém, MWD a nemagnetické zátěжки (Obrázek 6, vpravo). [8]

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Jak je znázorněno na Obrázek 6, BHA se obecně skládá z pilotního dláta, které je pod rozšiřovačem, ale může zahrnovat i další nástroje potřebné k provádění téměř jakékoli operace, která může být prováděna konvenčním vrtným způsobem.

V současné době většina společností rozvíjí nástroje, techniku a vybavení pro vrtání s pažnicemi. Společnost Tesco Corporation se od počátku stala lídrem s rozsáhlými zkušenostmi v oblasti navrhování, výroby a servisu technologických řešení pro energetický průmysl. Jejich proces CwD byl časopisem World Oil dvakrát oceněn jako „Nejlepší nová technologie vrtání“ - nejprve v roce 2002 a znovu v roce 2008. [8]

Společnost Tesco Corp. uvádí, že v letech 1999 až 2007 bylo více než 280 vrtů a více než 609 600 m vyvrtáno metodou pažnicového vrtání. Níže uvedená tabulka 2 uvádí souhrn statistik o vyměnitelných BHA, které byly použity na komerčních vrtech, vrtaných od ledna 2001 do června 2006 společností Tesco Corp. Ltd pro vertikální a usměrněné vrtné práce. [8]

Tabulka 2: Statistiky úspěšnosti vrtných prací metodou CwD

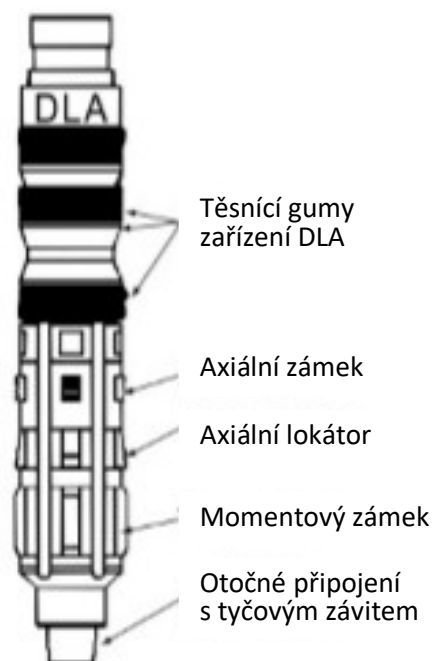
| Vyměnitelné BHA | Vertikální vrtání | Usměrněné vrtání | Úspěšné vrtání | Neúspěšné vrtání |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------------------|
| 890 | 822 | 68 | 857 | 33 |
| 100% | 92% | 8% | 96% | 4% |

V počátcích bylo usměrněného vrtání s pažnicemi (CwD) prováděno pomocí říditelných ponorných motorů a hlavní problémy se týkaly konstrukce BHA. Protože byl CwD vyvinut pro vrtání na pevnině (Onshore), zatímco RSS pro vrtné operace na moři (Offshore), měly tyto technologie odlišný způsob použití. Společnosti Conoco Phillips, Tesco a Schlumberger dokázaly tyto technologie účinně zkombinovat. Kombinace CwD a RSS zajišťuje výhody pažnicového vrtání a současně zachovává směrovou účinnost systému RSS. Výsledky ukázaly, že použití tohoto kombinovaného systému vrtání je úspěšně použitelné ve vrtech větších než 8 1/2“. Menší velikosti komponentů BHA, nejsou schopny vytvořit dostatečný přítlak na dláto na počvě vrtu a na rozšiřovač. [8]

2.2.1 Vrtný zámek v sestavě na pažnicové koloně (DLA)

Vrtná sestava je připevněna ke spodní části pažnic pomocí (DLA) Drill Lock Assembly, takže horní komponenty ve vrtné sestavě jsou také chyceny vrtným zámkem (DLA), (Obrázek 7), který zajišťuje mechanické (axiální a torzní) spojení a přenášení na pažnice, jakož i zajištění hydraulickým těsněním na principu pakru, pro snadnější zajištění pažnicové kolony.

DLA poskytuje možnost připojit konvenční vrtné nástroje s rotačně tvarovanými spoji k pažnicím a usnadňuje zapouštění nástrojů dovnitř a ven z pažnicové kolony. Poskytuje schopnost axiálního a torzního uzamčení a odblokování vrtné BHA v pažnicích, těsnící gumy na elementu DLA zajišťují správné proudění výplachu přes dláto. Uvolňovací zařízení pro tažení je zapuštěno na kabelovém vedení (Wireline), aby se uvolnilo DLA a vytáhlo BHA z pažnic v jedné cestě. Toto je možné na vertikálních vrtech a vrtech s nízkým úhlem. V nepravděpodobném případě, že se BHA nepodaří při prvním pokusu vytáhnout, lze uvolňovací nástroj odpojit od DLA, a začít s dalšími úkony pro zdárné vytažení uzamykatelného nosiče na pažnicích DLA. [8]



Obrázek 7: Vrtný zámek v pažnicové koloně DLA (Zdroj: Drillingformulas.com)

3 Srovnání technologie „vrtání za současného pažení“ s klasickými postupy při hloubení a vystrojování ropných vrtů

Vrtná souprava pro konvenční vrtání se příliš neliší od vrtné soupravy pro vrtání za současného pažení (Obrázek 8). Ve skutečnosti se hlavní rozdíly odrážejí v systému, který zajišťuje připojení, rotaci kolony a správnou cirkulaci ve vrtu, pojmenovaného Casing Drive System (CDS) a připojení požadovaného výplachového čerpadla a vylepšení na zařízení pro správnou kontrolu vrtů. Tato vylepšení umožňují bezpečnou manipulaci s velkým přítokem plynu na vrtné soupravě v situacích, kdy dochází k uvolnění většího množství plynu ve vysokotlakých formacích, které vznikly rozpukáním dané litologie např. přírodními posuny apod.

Kromě toho, že vrtná souprava obsahuje běžné zařízení pro vrtání, obsahuje souprava pro CwD - TDS – Top Drive System a silný vrátek (naviják) se silným kladkostrojem, které se používají k zapouštění pažnicových kolon pro vrtání systémem CwD.

Například jedna z vrtných souprav - Tesco Casing Rig, byla navržena na standardních skidovacích podločkách, takže celá souprava může být rozložena a přestěhována na 12. nákladních vozidel, namísto 23. nákladních vozidel vyžadovaných pro běžné soupravy. Nejmodernější vrtné soupravy používané v oblasti Lobo rozvoje vyžadují asi 33 nákladních vozidel, aby se přestěhovaly, s průměrnou dobou stěhování asi 2,5 dne. Nové soupravy lze přestěhovat pomocí standardních navijáků na ropných polích bez použití těžkých jeřábů. Přestěhování takové vrtné soupravy vyžaduje 12 hodin od ukončení vrtných prací do začátku vrtání na novém vrtu. [9]



Obrázek 8: Automatizovaná vrtná souprava pro CwD (Zdroj: Bhge.com)

3.1 Vrtná souprava Bentec 250 AC

Jde o novou, moderní vrtnou soupravu, která představuje řešení na nejvyšší technologické úrovni. Zároveň plní požadavky vysoké bezpečnosti a ekologického provozu. Souprava je navržena a vyrobena v souladu s API 4F normou a posledními evropskými předpisy, zahrnující nízko-emisní provoz a plnou ATEX certifikaci do prostředí s nebezpečím výbuchu. Souprava je plně elektrifikovaná a ovládaná pomocí „joysticku“. Souprava BENTEC 250 AC je mechanizovaná souprava s plně automatickým systémem a se systémem TOP DRIVE. [6]

Základní parametry vrtné soupravy BENTEC 250 AC jsou uvedeny v Tabulka 3.

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Tabulka 3: Vrtná souprava BENTEC 250T, AC

| Typ soupravy | BENTEC 250t, AC |
|---|-------------------------|
| | Těžká |
| Výrobce | Bentec Německo |
| Systém | Bootstrap |
| Celková výška [m] | 53,0 nebo 42,0 |
| Zatížení na háku [t] | 300 |
| Výška věže [m] | 44,8 nebo 35,8 |
| Hloubka dosahu [m] | 4 200 |
| Průměr vrtného vrátku [in.] | 29 1/2 |
| Průměr vrtného vrátku [mm] | 750 |
| Typ motorů/počet [ks] | Caterpillar CAT 3512B/3 |
| Výkon motoru [kW] | 1310 |
| Rotační hlava [typ] | TOP DRIVE |
| Výška pracovní plošiny [m] | 8,2 nebo 6,2 |
| Počet [ks]/typ výplachových čerpadel | 2/Bentec T-1600-AC |
| Výkon výplachových čerpadel [HP] | 1600 |
| Výkon výplachových čerpadel [kW] | 1200 |
| Maximální tlak [MPa] | 34,5 |
| Maximální výkonnost „litráž“ výplachových čerpadel [l.min ⁻¹] | 3127 |
| Rok výroby | 2014 |
| Rok nákupu | 2014 |
| Počet GO | - |
| Rok poslední GO | 2020 |
| Účel nebo použití | Vrtání |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Tato nová moderní vrtná souprava je vhodná pro systém pažení za současného vrtání. Tento systém vrtání byl použit na této soupravě v roce 2019 ve Francii. Šlo o první vrt v Evropě vrtný touto technologií. Bohužel díky své velikosti ji ale musí stěhovat přibližně 88 nákladních vozidel. Souprava má TDS – Top Drive System, který je nutný při použití této technologie vrtání CwD (Obrázek 9).



Obrázek 9: TDS – Top drive systém Bentec (Zdroj: Vlastní zdroj)

Připojení systému CDS – Casing Drive System na TDS není složitý proces, jen musí být známa velikost závitu pro připojení CDS na přípoj TDS, na který se připojují vrtné tyče, silnostěnné vrtné tyče, apod. [6]

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Zpravidla jde o závitky pro vrtné tyče o velikosti 5“ – NC50, pro vrtné tyče o velikosti 3 ½“ – NC38. Pro projekt ve Francii byl přípoj TT380. Správný závitový spojník je vždy podle typu vrtných tyčí.



Obrázek 10: Vrtná souprava Bentec 250 AC (Zdroj: Vlastní zdroj)

3.2 Řízený pažnicový systém (CDS)

Casing Drive System CDS (nebo také ve zkratce CRT - Circulating rotating head) je systém, který spojuje Top Drive System s pažnicovou kolonou, kdy je zajištěná rotace celé pažnicové kolony. Tesco spojení CDS a TDS (Obrázek 9), který je ovládán hydraulickým řídicím systémem TD - systémem, zrychluje manipulaci s pažnicemi a zabraňuje poškození závitu pažnic tím, že eliminuje jeden cyklus našroubování a odšroubování pažnicových spojů. Jakmile je spojení vytvořeno, může být zahájena cirkulace a CDS může manipulovat s celou pažnicovou kolonou. [5]



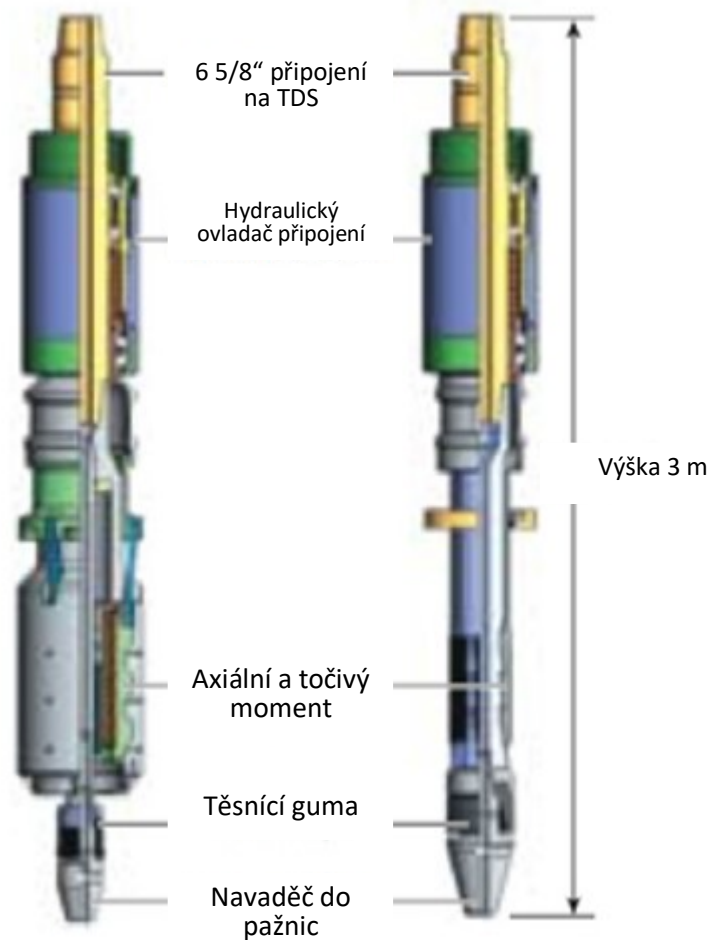
Obrázek 11: CDS nebo CRT rotační a proplachovací hlava pažnic (Zdroj: Drillingformulas.com)

Sestava klínu na systému CDS uchopuje vnější nebo vnitřní část pažnic v závislosti na velikosti (průměru) pažnice a připojuje se na horní části k TDS bez závitových připojení (Obrázek 12). Vnitřní sestava „kopí“ zajišťuje správné proudění výplachu uvnitř pažnic.

Použití systému CDS, urychluje proces manipulace s pažnicemi, ulehčuje práci vrtné osádce, odstraňuje jeden cyklus spojování šroubováním pažnice / odšroubováním pažnice, zabraňuje poškození závitů na pažnicích a

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

zvyšuje bezpečnost. V závislosti na zdvihací kapacitě jsou v Tabulka 4 uvedeny některé základní parametry CDS Tesco. [5]



Obrázek 12: CDS – vnitřní a vnější připojení na pažnice (Zdroj: Drillingformulas.com)



Obrázek 13: CDS – CRT hlava od firmy Schlumberger (Zdroj: Slb.com)

Tabulka 4: Specifikace Tesco CDS

| Zvedací kapacita | Specifikace | | |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 350 tun Vnější připojení | 500 tun Vnitřní připojení | 750 tun Vnitřní připojení |
| Velikost pažnic v palcích (in) | 3 ½ - 8 ¾ | 4 ½ - 20 | 9 ¾ - 20 |
| Délka pažnic ve stopách (ft) | 10 | 10 | 19 |
| Maximální zkrut (ft/lbs) | 40000 | 40000 | 80000 |
| Maximální tlak na pažnice během vrtání (psi) | 5000 | 5000 | 5000 |
| Maximální rotace pažnicové kolony (rpm) | 200 | 200 | 100 |
| Maximální váha na dláto pažnic (lbs) | 25000 | 25000 | 25000 |

3.3 Příprava vrtné soupravy k pažení bez systému CwD

1. Před pažením musí být zkontrolován technický stav vrtné soupravy z hlediska bezpečnosti práce a bezpečnosti provozu. Pozornost nutno věnovat zejména:

- a) nosnému mechanismu soupravy (kladkostrojové lano, brzdy vrátku, kotvení věže včetně pojízdné plošinky na pažení, viják apod.);
- b) hnacímu mechanismu (motory, hydraulické pohony (HPU));
- c) hydraulickým mechanismům: čerpadla musí být schopna plynule zásobovat cementační agregáty výplachem a vodou, připojení cementačních agregátů (jak na doplňování, tak pro připojení ke stojáku soupravy, respektive k cementační hlavě), stav a funkce šoupátek na výtlačném potrubí soupravy, stav sacího manifoldu vodních nádrží.
- d) protierupčnímu zařízení (výměna čelistí k pažení technických a těžebních kolon);
- e) cirkulačnímu systému soupravy (spolehlivost očišťovacího zařízení, dostatečný prostor v nádržích na výplach vytěsněný z vrtu cementem, naplnění nádrží záměsovou vodou);
- f) měřicí a regulační technice (indikátor tíhy, manometry na stojáku a na mezikruží vrtu, případná registrace krouticího momentu na šroubování pažnic, atd.);
- g) osvětlení pracoviště (při pažení v noci);

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

h) ostatním pomůckám a zařízení k pažení a cementaci (podle konkrétních podmínek a okolností).

Za kontrolu technického stavu soupravy a záznam o kontrole ve vrtním deníku zodpovídá vrtmistr.

2. K zapouštění pažnic do vrtu je vrtná osádka podle potřeby posílena vhodným počtem lidí pro manipulaci s pažnicemi při jejich přísunu do věže (posilování závisí na průměru pažnic a na délce pažené kolony). Zodpovídá vrtmistr.

3. Při pažení musí být zajištěna trvalá služba údržbáře a elektrikáře.

4. Pokud to podmínky dovolují, je nutno při podávání pažnic do vrat soupravy používat mechanizačních prostředků (jeřáby).

5. Všechny pomůcky a zařízení potřebné k pažení a následné cementaci a vymykající se běžnému vybavení vrtné soupravy musí být připraveny včas (tj. do začátku zapouštění pažnic, případně do začátku míchání cementu). Za přísun a přípravu těchto pomůcek a zařízení zodpovídají pracovníci uvedení v projektu vrtu nebo vrtmistr.

6. Při pažení technických a těžebních kolon musí být pažnice zapouštěny přes preventr s čelistmi odpovídajícími průměru zapouštěných pažnic (mimo výjimky, které stanoví projekt). Preventry musí být po montáži odzkoušeny tlakem, stanoveným v projektu vrtu. [6]

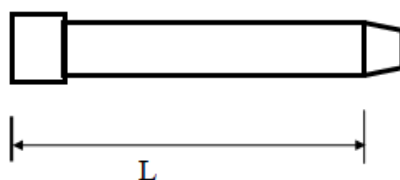
3.3.1 Přípravné práce před pažením

1. Hloubka vrtu musí být v rámci daného projektu upravena tak, aby pod spodním okrajem nejspodnějšího obzoru, který ještě bude testován, zůstalo přibližně 25 m pažnic (tzv. "kalník").
2. Před pažením musí být vrt podle potřeby přibrán.
3. Interval vrtu k přibírání nutno určovat podle nejčerstvějšího kavernogramu (profiloměru) s přihlédnutím k praktickým poznatkům vrtmistra o chování vrtu v průběhu hloubení.

4. Jsou-li obavy o průchodnost vrtu, musí být před pažením prošablonován. Sestava náradí pro prošablonování vrtu musí být uvedena v projektu vrtu.
5. Objem výplachu, kterým musí být vrt propláchnut, musí být uveden v projektu vrtu.
6. V projektu musí být stanoveny parametry výplachu požadované pro pažení a cementaci (hustota, viskozita, mez toku).
7. Při přibírání i při proplachování musí být výplach řádně očišťován a upraven s cílem zajistit nejpříznivější podmínky pro pažení a cementaci.
8. Není-li vrt zcela v klidu ("umrtven") - tj. vytéká-li z něj samovolně výplach, nelze přikročit k zapouštění pažnic.
9. Za přípravu vrtu k pažení zodpovídá vrtmistr a přípravy kontroluje operátor.
10. Hloubky zapažení a výšky sloupce cementu pro úvodní a technické kolony jsou uvedeny v projektu vrtu. Upřesnění podle skutečné situace ve vrtu provádí vedoucí operátor (projektant) a tyto změny jsou zaznamenány ve Stavebním deníku.
11. Pažnice a ostatní pomůcky a materiál na pažení musí být na vrtbu dopraveny včas a v dostatečném množství. Zodpovídají pracovníci uvedení v projektu vrtu.
12. Všechny pažnice musí být prošablonovány. Rozměry šablon jsou dány normou API Std 5CT. Je však zakázáno šablonovat pažnice až při vtahování rour do věže v průběhu vlastního pažení. Rozměr šablony musí být uveden v projektu vrtu nebo technologickém postupu pažení.
13. Rozsah čištění závitů pažnic je uveden v projektu vrtu.
14. Při manipulaci s rourami během transportu a při zacházení s nimi na lokalitě musí být všemi prostředky zabráněno poškození jak těla, tak závitů pažnic.

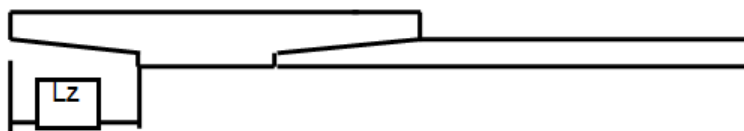
15. Poškozené pažnice (neprůchodné pro šablonu, s poškozenými závity) musí být ihned vyřazeny, zřetelně (červenou nesmytelnou barvou) označeny a odloženy stranou. To platí i o rourách, jež budou vyřazeny až při pažení - vrtmistr musí současně s vyřazením rour opravit pažnicovou listinu.
16. Pažnice způsobilé k zapouštění do vrtu musí být před zahájením pažení změřeny a vrtmistr musí sestavit pažnicovou listinu, ve které uvede (v pořadí zapouštění) délky všech rour podle jejich sekcí, dále všechny prvky vystrojení kolony a jejich délky (patu, vsuvky atd). Rozmístění centrátorů pažnicových vodítek, popřípadě škrabek určí operátor doplněním do pažnicové listiny. Pažnice na mostcích před věží musí být zřetelně očíslovány (na povrchu nejlépe světlou rychleschnoucí barvou - nikoliv křídou, popřípadě může být číslování provedeno dovnitř - v tomto případě může být použita křída) v souladu s pažnicovou listinou, a to v pořadí zapouštění. Zodpovídá vrtmistr.

Délka pažnice (L) s dlouhým nebo krátkým závitem API se pro pažnicovou listinu měří od vnějšího okraje objímky po rovinu výběhu závitu na pažnici (Obrázek 14). [6]



Obrázek 14: Měření délky pažnice (Zdroj: vlastní)

Při stanovování délky pažnice HSC (Obrázek 15) je nejdříve nutno změřit délku zašroubovaného závitu (L_z):

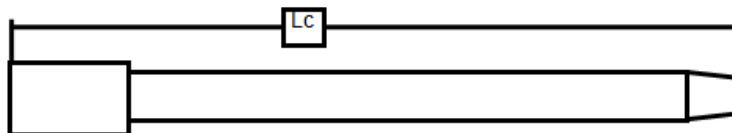


Obrázek 15: Délka zašroubovaného závitu (Zdroj: Vlastní)

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

L_z = délka zašroubovaného závitu, změřená na objímce od hrany objímky po těsnící dosedací plochu uvnitř objímky.

Potom je změřena celková délka pažnice (L_c):



Obrázek 16: Celková délka pažnice (Zdroj: vlastní)

L_c - celková délka pažnice od dosedací plochy objímky po konec závitu (Obrázek 16). Délka pažnice se závitem HSC pro pažnicovou listinu (L) je potom:

$$L = L_c - L_z$$

17. Součet délky kolony (podle sekcí a celkem) v pažnicové listině musí být překontrolován operátorem.
18. Pažnice, které nebyly zapuštěny do vrtu a budou vráceny zpět na sklad, musí mít před odvozem nakonzervované závity a musí být opatřeny chrániči závitu jak na čepu, tak i v objímce. [6]

3.3.2 Zapouštění pažnic

1. Při vtahování pažnic do věže musí být závity pažnic chráněny proti poškození. Čep pažnic musí být opatřen snímatelným chráničem (tzv. klampon). V každém případě je nutno zabránit prudkým úderům pažnic o kovové předměty na pracovní plošině, nejlépe konopným lanem. Pracovníci se při tom nesmí zdržovat v dráze pohybu pažnice.
2. U úvodních a technických kolon musí být pata a 3 - 5 spodních pažnic zajištěno proti rozšroubování, a to z obou stran objímek. Způsob zajištění pažnic proti rozšroubování musí být uveden v projektu vrtu nebo TP (přerušovaným svarem, lepidlem apod.).
3. Závity pažnic musí být před sešroubováním přečištěny (nepoužívat ocelový kartáč).

4. Před nadstavením musí být závity pažnice namazány mazadlem uvedeným v projektu vrtu. Mazání musí být prováděno tenkou vrstvou bez větších přebytků mazadla.
5. Pokud je použito dotěšňovacích past, resp. prostředků proti rozšroubování, musí být závity pažnic (na čepu i v objímce) těsně před nanesením těchto speciálních past a směsí odmaštěny a otřeny do sucha.
6. Při šroubování musí být vždy dodržovány krouticí momenty, předepsané v projektu vrtu nebo technologickém postupu pažení. Pro sortiment pažnic běžně používaných jsou tyto krouticí momenty tabelovány v Tabulka 5. Ať již je ke šroubování závitů použito hydraulického klíče anebo strojních kleští ("wilsonů"), vždy musí být zajištěno přiměřené měření vyvíjeného krouticího momentu, u zvláště náročných kolon je nutno vyvíjené krouticí momenty registrovat. Způsob měření, případně záznam krouticího momentu jsou stanoveny v projektu vrtu nebo technologickém postupu pažení.
7. Plně dotažený oblý závit pažnice (tzv. "závit API") jak krátký tak dlouhý, se vyznačuje tím, že okraj objímky pažnice právě překrývá výběh závitu na pažnice (± 1 závit). U lichoběžníkových (tzv. "buttress") závitů se při optimálním dotahovém momentu okraj objímky právě kryje se základnou trojúhelníkové značky na rouře (s tolerancí do 1 závitu k základně trojúhelníka při minimálním přípustném momentu a maximálně k vrcholu trojúhelníku při maximálním přípustném momentu).
8. Je přípustné šroubovat krátký závit pažnice do dlouhého závitu v objímce. Nelze šroubovat dlouhý závit čepu pažnice do krátkého závitu v objímce.
9. Nelze-li závitový spoj dotáhnout zcela, musí být zjištěna příčina, závada odstraněna, případně celá pažnice vyměněna. O vyřazenou pažnici (a o její náhradu za jinou) musí vrtmistr opravit pažnicovou listinu. [6]

10. Maximální rychlost zapouštění pažnic musí být uvedena v projektu vrtu (TP).
11. Při zapouštění pažnic musí být kolona pravidelně doplňována výplachem, a to podle projektu vrtu, TP. Přitom, je nutno zohlednit konkrétní možnosti doplňování na dané vrtbě. Délka nedoplňovaného intervalu pažené kolony obvykle nepřesahuje 100 m. Při doplňování (stejně jako při celém pažení) je nutno dbát na to, aby se do kolony nedostaly žádné cizí předměty a nečistoty, které by mohly znemožnit funkci zpětných ventilů. Funkci zpětných ventilů je nutno prověřit po zapuštění 4 až 5 pažnic. Kolonu je třeba doplnit, potom o 10 - 12 m povytáhnout, vyčkat asi 10 minut a znovu posadit na stůl. Hladina v pažnicích musí být cca o 10 m níže. Neklesne-li, je to známka závady zpětných ventilů. Závadu je třeba zjistit a odstranit. Zásady uvedené v tomto bodu neplatí při použití aktivovaných zpětných ventilů.
12. Při zapouštění pažnic musí být soustavně sledován výtok výplachu z vrtu. Při zastavení pohybu kolony do vrtu musí výtok výplachu z vrtu prakticky ihned ustát. Po každé desáté pažnici (přibližně po 1 hodině zapouštění pažnic) musí být zkontrolovány parametry výplachu vytěšňovaného pažnicemi z vrtu, především jeho hustota. Za kontrolu pravidelnosti výtoků výplachu a jeho hustoty zodpovídá směnistr.
13. Sledovat ztráty výplachu během pažení a v případě ztrát snížit rychlost zapouštění pažnic. Velikost ztrát zaznamenat do denního hlášení. Za sledování ztrát zodpovídá směnistr, za záznam vrtmistr, změnu rychlosti zapouštění určuje operátor.
14. Objeví-li se samovolný výtok výplachu z vrtu, musí být pažení přerušeno, vrt propláchnut. Parametry výplachu (především hustota) musí být při tom měřeny každých 5 minut a pečlivě při tom v nádržích sledována úroveň výplachu (zda nepřibývá). Nevymizí-li příznaky samovolného výtoků výplachu z vrtu, je nutno přistoupit k uzavření preventru a k umrtvování tlakového projevu. [6]

15. V pažení lze pokračovat až po úplném uklidnění vrtu ("umrtvení tlakového projevu").
16. Za správné pořadí zapouštěných pažnic, za rozmístění vodítek a škrabek na předepsaná místa, za umístění případného reperu pro potřeby karotáže (musí být známa přesná hloubka polohy reperu) a dalších součástí výstroje kolony pažnic (paty, vsuvky a další dílce) zodpovídá vrtmistr.
17. Při pažení musí být (především směnmistrem u brzdy) nepřetržitě sledován indikátor tíhy kolony (tunometr). Při poklesu tíhy kolony (nasednutí) musí být zapouštění ihned přerušeno a odstraněna příčina poklesu tíhy kolony.
18. Po zapuštění kolony do konečné hloubky musí být vrt propláchnut minimálně jedním obsahem vrtu nebo tak dlouho, dokud bude z vrtu vycházet horninový materiál. Proplachování nesmí být přerušeno. Bezprostředně po propláchnutí musí být zahájeno zatlačení předlážně a cementace vrtu. Objem výplachu, který má být propláchnut a litráž proplachování vedoucí operátor uvede v projektu vrtu nebo technologickém postupu pažení.
19. Během proplachování vrtu musí být měřeny parametry výplachu (hustota, viskozita) každých 30 minut. V případě nárůstu viskozity musí být výplach upraven na předepsanou hodnotu.
20. Při použití škrabek musí být doba proplachování (a pojíždění kolonou) upravena podle charakteru výnosu seškrabané výplachové kůry. Četnost pojíždění kolonou při proplachování nutno upravit přibližně na 6 - 12 pojetí kolonou na určenou délku zdvihu za hodinu. Četnost pojíždění je uvedena v projektu vrtu nebo TP.
21. Podle skutečně zapážených pažnic sestaví vrtmistr pažnicovou listinu skutečně zapuštěných pažnic tak, aby z čistopisu bylo jasné patrné, v jakých skutečných hloubkách jsou zabudovány jednotlivé prvky výstroje kolony (pata, zpětné ventily, vsuvky, posuvné objímky,

vodítka, škrabky, repery atd). Čistopis pažnicové listiny prokazatelně překontrolovaný operátorem založí vedoucí operátor do složky vrtu.

22. V případě zásadních změn v projektu (popřípadě skutečností v průběhu vrtání - podstatné změny hloubek pat pažnicových kolon, změna charakteru provrtávaných hornin, ztráty výplachu) musí být zpracován upřesňující technologický postup pažení. [6]

3.4 Plánování vrtu a typu pažnic

Před začátkem vrtání je třeba vyřešit většinu technických problémů, které by mohly ovlivnit integritu pažnic při metodě pažení během vrtání. Proto jsou konstrukční výpočty, jako je průměr pažnic, hloubka usazení, stupeň a hmotnost, stabilita vrtů, kontrola vrtů, směrové plánování a výběr dlát, velmi podobné jako při navrhování konvenčního vrtání. Pažnicové spoje a dodatečná napětí mohou vyžadovat změnu, protože musí zajišťovat dostatečnou torzní pevnost, odolnost proti únavě, hydrauliku a průchodnost. Rovněž ohýbání a opotřebení pažnic nejsou při vrtání pažnicemi podivné faktory. Všechny tyto jevy budou popsány níže. [3]

Tabulka 5: Momenty na dotahování pažnic s oblými závity

| Momenty na dotahování pažnic s oblými závity | | | | | | | | | |
|--|--------|-------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
| Průměr | Tl.st. | Lb/ft | Mat. | krátký závit, N.m | | | dlouhý závit, N.m | | |
| | mm | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| 4 1/2 114,3 | 5,21 | 9,50 | J-55 | 1370 | 1030 | 1710 | - | - | - |
| | 5,69 | 10,50 | | 1790 | 1340 | 2240 | - | - | - |
| | 6,35 | 11,60 | | 2090 | 1570 | 2620 | 2200 | 1660 | 2755 |
| | 7,35 | 13,50 | | - | - | - | 2780 | 2090 | 3470 |
| | 5,21 | 9,50 | K-55 | 1520 | 1140 | 1900 | - | - | - |
| | 5,69 | 10,50 | | 1980 | 1490 | 2480 | - | - | - |
| | 6,35 | 11,60 | | 2310 | 1740 | 2890 | 2440 | 1830 | 3050 |
| | 6,35 | 11,60 | L-80 | - | - | - | 2880 | 2120 | 3670 |
| | 7,37 | 13,50 | | - | - | - | 3490 | 2610 | 4590 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

| | 6,35 | 11,60 | N-80 | - | - | - | 3090 | 2320 | 3870 |
|------------------------|--------|-------|-------|-------------------|------|------|-------------------|------|-----------|
| | 7,37 | 13,50 | | - | - | - | 3750 | 2810 | 4680 |
| | 6,35 | 11,60 | C-95 | - | - | - | 3500 | 2630 | 4380 |
| Průměr | tl.st. | Lb/ft | Mat. | krátký závit, N.m | | | dlouhý závit, N.m | | |
| | mm | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| | 7,37 | 13,50 | | | - | - | - | 4240 | 3190 5300 |
| | 6,35 | 11,60 | P-110 | | - | - | - | 4100 | 3080 5130 |
| | 7,37 | 13,50 | | | - | - | - | 4970 | 3730 6280 |
| | 8,56 | 15,10 | | | - | - | - | 5970 | 4480 7460 |
| 5" 127,0 | 5,59 | 11,50 | J-55 | | 1800 | 1360 | 2250 | - | - - |
| | 6,43 | 13,00 | | | 2290 | 1720 | 2860 | 2470 | 1860 3090 |
| | 7,52 | 15,00 | | | 2810 | 2100 | 3510 | 3030 | 2270 3790 |
| | 5,59 | 11,50 | K-55 | | 1990 | 1490 | 2500 | - | - - |
| | 6,43 | 13,00 | | | 2520 | 1900 | 3160 | 2730 | 2050 3410 |
| | 7,52 | 15,00 | | | 3090 | 2320 | 3870 | 3340 | 2510 4180 |
| | 7,52 | 15,00 | L-80 | | - | - | - | 4000 | 3000 5000 |
| | 9,19 | 18,00 | | | - | - | - | 5100 | 3830 6380 |
| | 7,52 | 15,00 | N-80 | | - | - | - | 4260 | 3200 5330 |
| | 9,19 | 18,00 | | | - | - | - | 5430 | 4070 6790 |
| | 7,52 | 15,00 | C-95 | | - | - | - | 4830 | 3620 6030 |
| | 9,19 | 18,00 | | | - | - | - | 6170 | 3620 7710 |
| | 7,52 | 15,00 | P-110 | | - | - | - | 7210 | 5400 9010 |
| 5 1/2" 139,7 | 6,20 | 14,00 | J-55 | | 2330 | 1750 | 2920 | - | - - |
| | 6,98 | 15,50 | | | 2740 | 2060 | 3430 | 2940 | 2210 3680 |
| | 7,72 | 17,00 | | | 3110 | 2330 | 3880 | 3550 | 2510 4190 |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

| | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6,20 | 14,00 | K-55 | 2560 | 1930 | 3200 | - | - | |
| - | | | | | | | | |
| 6,98 | 15,50 | | 3010 | 2270 | 3770 | 3240 | 2430 | 4060 |
| 7,52 | 17,00 | | 3420 | 2560 | 4280 | 3690 | 2770 | 4610 |

| Průměr | Tl.st. | Lb/ft | Mat. | krátký závit, N.m | | | dlouhý závit, N.m | | |
|--------------|--------|-------|-------|-------------------|------|------|-------------------|------|------------|
| mm | | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| | 7,72 | 17,00 | L-80 | - | - | - | - | 4580 | 3440 5730 |
| | 9,17 | 20,00 | | - | - | - | - | 5640 | 4230 7050 |
| | 10,54 | 23,00 | | - | - | - | - | 6630 | 4970 8290 |
| | 7,72 | 17,00 | N-80 | - | - | - | - | 4720 | 3540 5900 |
| | 9,17 | 20,00 | | - | - | - | - | 5810 | 4360 7260 |
| | 10,54 | 23,00 | | - | - | - | - | 6810 | 5120 8520 |
| | 7,72 | 17,00 | C-95 | - | - | - | - | 5370 | 4030 6710 |
| | 9,17 | 20,00 | | - | - | - | - | 6600 | 4950 8260 |
| | 10,54 | 23,00 | | - | - | - | - | 7760 | 5820 9690 |
| | 7,72 | 17,00 | P-110 | - | - | - | - | 6270 | 4710 7840 |
| | 9,17 | 20,00 | | - | - | - | - | 7720 | 5790 9650 |
| | 10,54 | 23,00 | | - | - | - | - | 9070 | 6800 11330 |
| 6 5/8 | 7,32 | 20,00 | J-55 | 3320 | 2500 | 4150 | 3610 | 2710 | 4520 |
| 168,3 | 8,94 | 24,00 | | 4260 | 3200 | 5330 | 4610 | 3460 | 5770 |
| | 7,32 | 20,00 | K-55 | 3620 | 2710 | 4530 | 3940 | 2960 | 4930 |
| | 8,94 | 24,00 | | 4640 | 3490 | 5810 | 5050 | 3790 | 6310 |
| | 8,94 | 24,00 | L-80 | - | - | - | - | 6420 | 4810 8020 |
| | 10,59 | 28,00 | | - | - | - | - | 7810 | 5860 9760 |
| | 12,06 | 32,00 | | - | - | - | - | 9040 | 6780 11290 |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

| | 8,94 | 24,00 | N-80 | - | - | - | 6530 | 4900 | 8160 |
|------------|--------|-------|-------|-------------------|------|------|-------------------|-------|------------|
| | 10,59 | 28,00 | | - | - | - | 7950 | 5970 | 9950 |
| | 12,06 | 32,00 | | - | - | - | 9190 | 6890 | 11480 |
| | 8,94 | 24,00 | C-95 | - | - | - | 7440 | 5590 | 9300 |
| Průměr | tl.st. | Lb/ft | Mat. | krátký závit, N.m | | | dlouhý závit, N.m | | |
| mm | | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| | 10,59 | 28,00 | | | - | - | - | 9070 | 6810 11330 |
| | 12,06 | 32,00 | | | - | - | - | 10490 | 7880 13120 |
| | 8,94 | 24,00 | P-110 | | - | - | - | 8700 | 6530 10870 |
| | 10,59 | 28,00 | | | - | - | - | 10600 | 7950 13240 |
| | 12,06 | 32,00 | | | - | - | - | 12270 | 9200 13330 |
| 7 177,8 | 6,91 | 20,00 | J-55 | | 3180 | 2380 | 3980 | - | - - |
| | 8,05 | 23,00 | | | 3850 | 2890 | 4820 | 4250 | 3190 5310 |
| | 9,19 | 26,00 | | | 4530 | 3410 | 5670 | 4980 | 5730 6230 |
| | 6,91 | 20,00 | K-55 | | 3450 | 2590 | 4320 | - | - - |
| | 8,05 | 23,00 | | | 4190 | 3150 | 5240 | 4630 | 3480 5780 |
| | 9,19 | 26,00 | | | 4940 | 3700 | 6170 | 5440 | 4080 6800 |
| | 8,05 | 23,00 | L-80 | | - | - | - | 5900 | 4430 7380 |
| | 9,19 | 26,00 | | | - | - | - | 6930 | 5300 8660 |
| | 10,36 | 29,00 | | | - | - | - | 7960 | 5970 9950 |
| | 11,51 | 32,00 | | | - | - | - | 8970 | 6730 11200 |
| | 12,65 | 35,00 | | | - | - | - | 9960 | 7470 12450 |
| | 13,72 | 38,00 | | | - | - | - | 10870 | 8150 13580 |
| | 8,05 | 23,00 | N-80 | | - | - | - | 6000 | 4510 7500 |
| | 9,19 | 26,00 | | | - | - | - | 7040 | 5280 8810 |
| | 10,36 | 29,00 | | | - | - | - | 8100 | 6080 10120 |
| | 11,51 | 32,00 | | | - | - | - | 9120 | 6840 11400 |
| | 12,65 | 35,00 | | | - | - | - | 10120 | 7600 12660 |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

| | 13,72 | 38,00 | | - | - | - | 11050 | 8290 | 13810 |
|--------------|--------|-------|-------|-------------------|------|------|-------------------|-------|-------------|
| | 8,05 | 23,00 | C-95 | - | - | - | 5850 | 4140 | 7560 |
| | 9,19 | 26,00 | | - | - | - | 8040 | 6030 | 10050 |
| | 10,36 | 29,00 | | - | - | - | 9260 | 6940 | 11580 |
| Průměr | TL.st. | Lb/ft | Mat. | krátký závit, N.m | | | dlouhý závit, N.m | | |
| | mm | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| | 11,51 | 32,00 | | | - | - | - | 10410 | 7810 13020 |
| | 12,65 | 35,00 | | | - | - | - | 11570 | 8680 14450 |
| | 13,72 | 38,00 | | | - | - | - | 12620 | 9460 15780 |
| | 9,19 | 26,00 | P-110 | | - | - | - | 9400 | 7060 11750 |
| | 10,36 | 29,00 | | | - | - | - | 10820 | 8120 13520 |
| | 11,51 | 32,00 | | | - | - | - | 12170 | 9130 15210 |
| | 12,65 | 35,00 | | | - | - | - | 13520 | 10140 16900 |
| | 13,72 | 38,00 | | | - | - | - | 14750 | 11060 18440 |
| 9 5/8 | 7,92 | 32,30 | J-55 | | 4600 | 3450 | 5750 | - | - - |
| 244,5 | 8,94 | 36,00 | | | 5350 | 4020 | 6690 | 6150 | 4610 7680 |
| | 10,03 | 40,00 | | | 6130 | 4600 | 7670 | 7060 | 5290 8820 |
| | 8,94 | 36,00 | K-55 | | 5740 | 4300 | 7180 | 6640 | 4980 8290 |
| | 10,03 | 40,00 | | | 6600 | 4950 | 8250 | 7610 | 5710 9510 |
| | 10,03 | 40,00 | L-80 | | - | - | - | 9860 | 7390 12330 |
| | 11,05 | 43,50 | | | - | - | - | 11030 | 8270 13790 |
| | 11,99 | 47,00 | | | - | - | - | 12110 | 9090 15140 |
| | 13,84 | 53,50 | | | - | - | - | 14200 | 10650 17750 |
| | 10,03 | 40,00 | N-80 | | - | - | - | 10000 | 7500 12500 |
| | 11,05 | 43,50 | | | - | - | - | 11190 | 8400 13990 |
| | 11,99 | 47,00 | | | - | - | - | 12280 | 9210 13350 |
| | 13,84 | 53,50 | | | - | - | - | 14410 | 10820 18020 |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro
účely hloubení ropných vrtů.

| | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10,03 | 40,00 | C-95 | - | - | - | 11480 | 8610 | 14360 |
| | 11,05 | 43,50 | | - | - | - | 12850 | 9640 | 16070 |
| | 11,99 | 47,00 | | - | - | - | 14100 | 10850 | 17360 |
| | 13,84 | 53,50 | | - | - | - | 16540 | 12410 | 20680 |
| | 11,05 | 43,50 | P-110 | - | - | - | 15000 | 11260 | 18770 |
| | 11,99 | 47,00 | | - | - | - | 16460 | 12350 | 20570 |
| | 13,84 | 53,50 | | - | - | - | 19300 | 14480 | 24130 |
| <hr/> | | | | | | | | | |
| 13 3/8 | 8,38 | 48,00 | J-55 | 5980 | 4490 | 7430 | - | - | - |
| 339,7 | 9,65 | 54,50 | | 6980 | 5240 | 8730 | - | - | - |
| | 10,92 | 61,00 | | 8070 | 6050 | 10100 | - | - | - |
| | 12,19 | 68,00 | | 9160 | 6870 | 11540 | - | - | - |
| | 9,65 | 54,50 | K-55 | 7420 | 5560 | 9280 | - | - | - |
| | 10,92 | 61,00 | | 8590 | 6450 | 10730 | - | - | - |
| | 12,19 | 68,00 | | 9740 | 7310 | 12190 | - | - | - |
| | 13,06 | 72,00 | L-80 | 3960 | 10470 | 17440 | 16160 | 12120 | 20200 |
| | 13,06 | 72,00 | N-80 | 4100 | 10580 | 17640 | - | - | - |
| | 13,06 | 72,00 | C-95 | 6340 | 12250 | 20420 | 18980 | 14160 | 23610 |
| <hr/> | | | | | | | | | |
| 18 5/8 | 11,05 | 85,50 | J-55 | 10230 | 7680 | 12800 | - | - | - |
| 473,1 | 11,05 | 85,50 | K-55 | 10770 | 8090 | 13475 | - | - | - |

Poznámka k tab. 3.: 10 Nm je přibližně 1 kpm

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

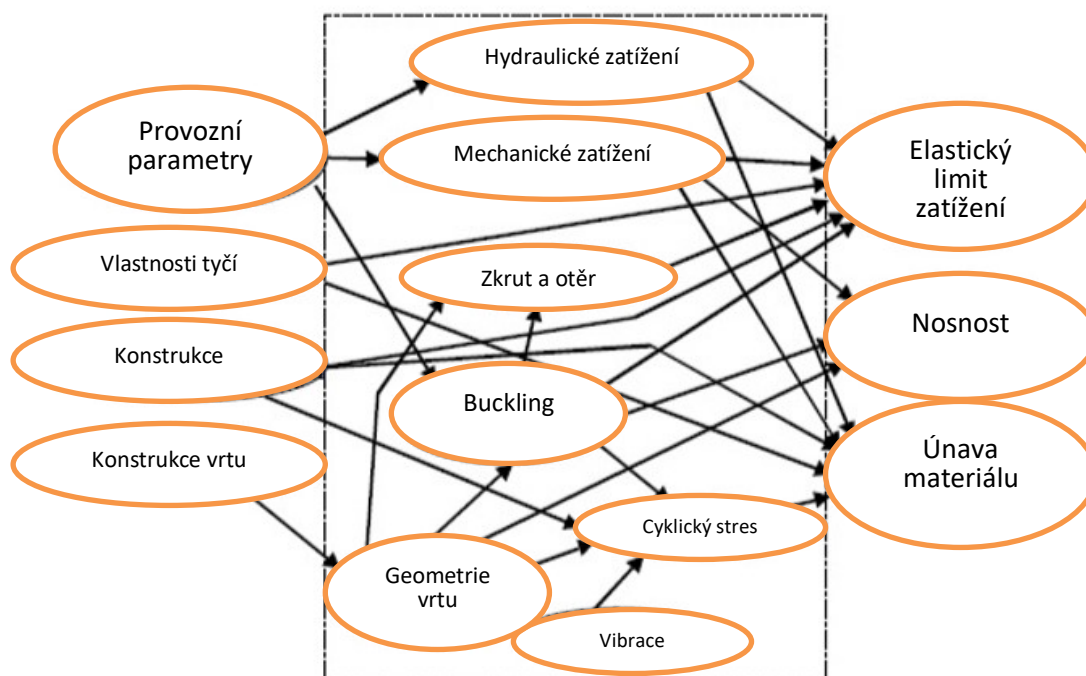
Momenty na dotahování pažnic se závity HSC

| Průměr | Tl.st. | Lb/ft | Mat. | Normální objímka, N.m | | | Speciální objímka, N.m | | |
|------------------------|--------|-------|---------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| | mm | | zn. | opt. | min. | max. | opt. | min. | max. |
| 5“ 127,0 | 6,43 | 13,00 | J,K-55 | 5700 | 5100 | 6260 | | | |
| | 7,52 | 15,00 | | 6370 | 5730 | 7010 | | | |
| | 9,19 | 18,00 | | 7740 | 6970 | 8510 | | | |
| | 6,43 | 13,00 | N,L-80 | 6180 | 5570 | 6790 | | | |
| | 7,52 | 16,25 | | 6970 | 6280 | 7660 | | | |
| | 9,19 | 19,50 | | 8340 | 7510 | 9170 | | | |
| | 6,43 | 13,00 | C90,95 | 6580 | 5930 | 7230 | | | |
| | 7,52 | 16,25 | | 7250 | 6530 | 7970 | | | |
| | 9,19 | 19,50 | | 8730 | 7860 | 9600 | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 5 1/2“ 139,7 | 7,72 | 17,00 | J,K-55 | 6860 | 6180 | 7540 | | | |
| | 9,17 | 20,00 | | 8040 | 7240 | 8840 | | | |
| | | | | | | | | | |
| | 7,72 | 17,00 | N,L-80 | 7460 | 6720 | 8200 | | | |
| | 9,17 | 20,00 | | 8830 | 7950 | 9710 | | | |
| | | | | | | | | | |
| | 7,72 | 17,00 | C-90,95 | 7850 | 7080 | 8620 | | | |
| | 9,17 | 20,00 | | 9220 | 8300 | 10140 | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 7“ 177,8 | 8,05 | 23,00 | J,K-55 | 7600 | 8400 | 9200 | 6530 | 6000 | 7600 |
| | 9,19 | 26,00 | | 9800 | 8800 | 10700 | 6970 | 6300 | 8300 |
| | 10,36 | 29,00 | | 11200 | 10100 | 12400 | 7630 | 7000 | 8900 |
| | 11,51 | 32,00 | | 12300 | 11050 | 13500 | 8170 | 7500 | 9500 |
| | | | L,N-80 | | | | | | |
| | 8,05 | 23,00 | | 9500 | 8600 | 10500 | 8670 | 8000 | 10000 |
| | 9,19 | 26,00 | | 11250 | 10120 | 12400 | 9530 | 8800 | 11000 |
| | 10,36 | 29,00 | | 12750 | 11500 | 14000 | 10400 | 9600 | 12000 |
| | 11,51 | 32,00 | | 13800 | 12400 | 15100 | 11000 | 10000 | 13000 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9 5/8 | 10,03 | 40,00 | J,K-55 | 14200 | 12900 | 15600 | 8670 | 8000 | 10000 |
| 244,5 | 11,05 | 43,50 | | 16200 | 14700 | 17700 | 10400 | 9600 | 12000 |
| | 11,99 | 47,00 | | 16700 | 15100 | 18300 | 11500 | 10500 | 13500 |
| | 10,03 | 40,00 | L,N-80 | 16700 | 15100 | 18300 | 12500 | 11500 | 14500 |
| | 11,05 | 43,50 | | 19100 | 17200 | 21000 | 14500 | 13500 | 16500 |
| | 11,99 | 47,00 | | 19600 | 17700 | 21500 | 15500 | 14500 | 17500 |

Všechny tyto dotahové momenty musí být zohledněny v projektování vrtu a vybírání druhu pažnic pro systém vrtání CwD. Při příliš složité trajektorii vrtu, pokud bude vrtání usměrněno pod větším úhlem. Budou spoje na pažnicích o to více namáhány, a proto musí být zvolen správný typ pažnic.

Obrázek 17 ukazuje některé interakce, které ovlivňují integritu pažnic použitých pro vrtání CwD. Vpravo jsou zobrazeny 3 základní aspekty integrity pažnic, zatímco věci, které jsou pod kontrolou operátora, jsou zobrazeny vlevo. Složité interakce souvisejí s parametry přímo pod kontrolou operátora s konečnou integritou pažnic. [3]



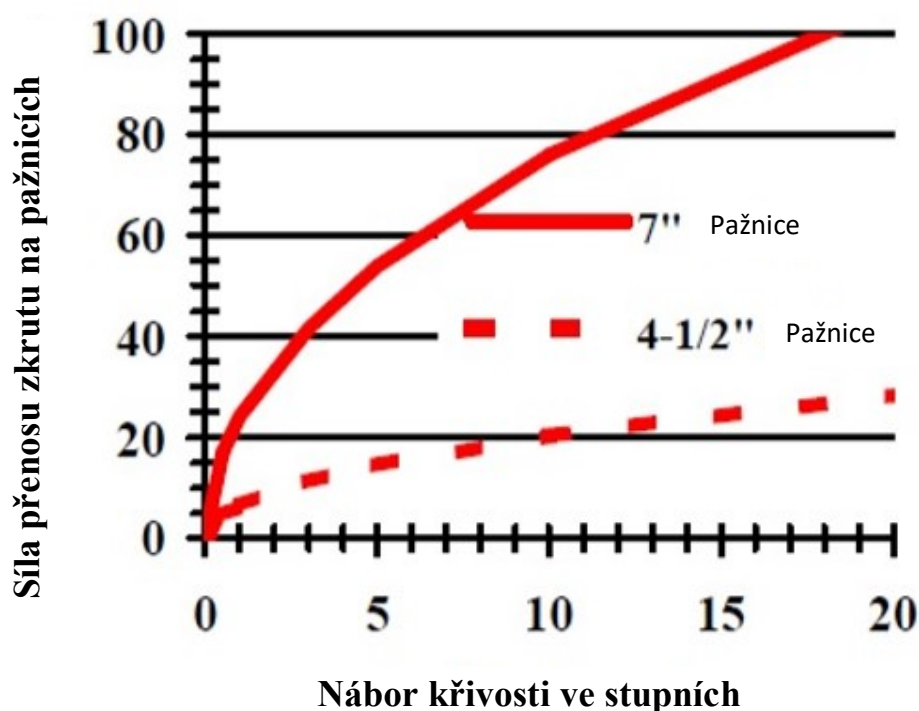
Obrázek 17: Interakce ovlivňující integritu pažnic během vrtání (Zdroj: Bhge.com)

3.4.1 Přenesení zatížení na spodní část vrtné sestavy - Buckling

Na začátku 21. století nebylo snadné se ujistit, že neexistují žádné zátěže. Vrtaři se okamžitě zamysleli, jak přenášet váhu na dláto. Výpočty vrtných inženýrů, jako je neutrální bod, buckling, hydraulika a odolnost proti únavě, se zdály být při vrtání metodou CwD nereálné. Očividně se průmysl změnil, tak muselo přijít i k rozvoji vrtného zařízení. [8]

Buckling způsobuje dva hlavní problémy způsobené provozními parametry a geometrií vrtu. Za prvé: boční kontaktní síly mezi pažnicemi a stěnou vrtu mohou způsobit opotřebení pažnic a zvýší točivý moment, který je potřebný pro otáčení pažnicemi. Za druhé: buckling způsobí, že pažnice zaujme zakřivenou geometrii uvnitř vrtu, která zvyšuje napětí v potrubí a může zvýšit tendenci k bočním vibracím. [8]

Křivky přenosu zkrutu mezi kolonou pažnic a stěnou vrtu na Obrázek 18 představují zatížení, které působilo na pažnice 23 lb/ft - 7" v průměru vyvrtaného vrtu 8" a pažnic 9,5 lb/ft - 4 1/2" v průměru vyvrtaného vrtu 6".



Obrázek 18: Znáznornění vyvinutého zkrutu na pažnicích (Zdroj: Bhge.com)

Ve svislém vrtu je tlakové zatížení, které způsobuje „buckling“, určeno třemi faktory: tuhost potrubí (EI), boční síla gravitace (hmotnost trubky a sklon otvoru) a vzdálenost od stěny otvoru (radiální vůle). Pokud je vrt přímý, ale ne svislý, poskytuje normální kontakt stěny vrtu s trubkou ležící na spodní straně vrtu stabilizační vliv a zvyšuje kompresivní zatížení, které může být podporováno před pažnicovým vrtáním sponou. Místo styku určuje, zda je opotřebení lokalizováno na pažnicových spojích nebo zda není ovlivňováno tělo pažnic.

Například společnost BP narazila na tento problém během pažnicového vrtání těžební sekce s pažnicemi 4 ½“ v pilotním projektu v oblasti Wamsutter ve Wyomingu. Vyvrtali první dva vrty, které se pokusili vyřešit pomocí „rigid“ centrátorů (Obrázek 19), ale neúspěšně. Na třetím vrtu byl problém vyřešen s opotřebením, bočními vibracemi, točivým momentem a únavou pomocí dvaceti čtyř kusů pažnic 5“, které byly zapuštěny na dno vrtu, aby nahradily 4 ½“ pažnice s centrátorem, které byly použité v předchozím návrhu. Tyto pažnice neměly dostatečnou hmotnost, takže spojené pažnice 4 ½“ byly v tlaku. Pažnice 5“ poskytují hladší povrch pro snížení tření, které zvyšuje sklon k točení, a poskytuje silnější stěnu, která lépe odolává opotřebení těla pažnic. [8]



Obrázek 19: Znárodnění „rigid“ centrátoru (Zdroj: Bhge.com)

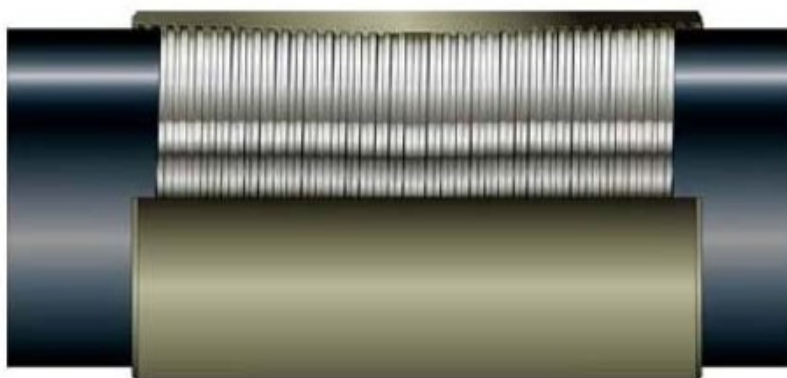
3.4.2 Únava pažnic

Selhání z únavy jsou způsobeny cyklickým zatížením při úrovních napětí ve vrtu hluboko pod elastickou silou. Při opakovaném zatížení začíná malá trhlinka v místě vzniku vysokého napětí a šíří se skrz tělo, dokud se zbývající plocha průřezu nedostane k místu s dostatečnou podporou statického zatížení. Počet stresových cyklů, které jsou potřebné k tomu, aby způsobily selhání, závisí na řadě faktorů a můžou se pohybovat od několika cyklů po nekonečno. Selhání z únavy jsou vysoce citlivé na místní podmínky. V důsledku oscilačních ohybových zatížení se obvykle vyskytuje porucha v nedokonalém místě při výrobě, a kde dochází k tzv. vymývání před konečným prasknutím. Tyto poruchy se často také vyskytují buď v závitové části spojníku, nebo v oblasti usazení pažnic do klínů v rotačním stole. [9]

3.4.3 Pažnicové spoje „spojníky“ a závity

Pažnicové spoje hrají jednu z hlavních rolí při vrtání. Spojení je vystaveno vysokým torzním a axiálním silám, únavovému odporu a pásovým

zatížením. Kromě požadovaných charakteristik na spoje, patří požadované vlastnosti také na opakované šroubování a dotahování, snadnou manipulaci, údržbu vysoké integrity tlakových těsnění a správného toku. Konstrukce je vyvinuta na základě znalostí získaných z vývoje spojování pažnic na plošinách na moři, kde je kladen velký důraz na odolnost vůči únavě. Spojení (závity) jsou hlavně API buttress BTC, dodatečně vylepšená o nainstalovaný zátěžový kroužek pro torzní a těsnicí schopnosti, a vlákna ošetřená přípravkem dihydrosulfidu molybdenu, aby se omezilo poškození během dotahování. Příkladem mohou být tyto výrobci: Grant Prideco (Obrázek 20), Hydril, Hunting Energy Services, Vam a GB Tubulars. [9]

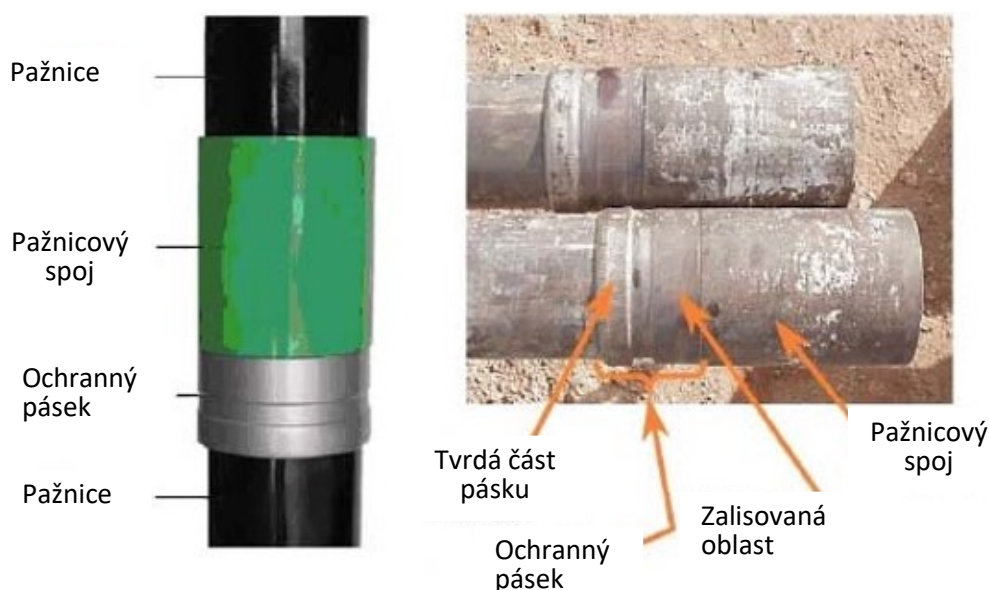


Obrázek 20: Grant Prideco pažnicový spoj (Zdroj: Bhge.com)

3.4.4 Ochrana pažnicového spoje

Tento bezpečnostní prvek je hodně podobný ochraně proti opotřebení spoje, jako je na vrtných tyčích. Vzhledem k tomu, že pažnice budou zacementovány na místě usazení kolony a budou sloužit k dalším pracím na vrtu, je ochrana proti opotřebení velmi důležitá pro integritu pažnic při metodě pažnicového vrtání.

Ochranný pásek, znázorněný na Obrázek 21, je kovový prstenec potažený tvrdým povrchem z karbido wolframu. Je umístěn pod spojem pažnic, aby byla zachována pevnost spojení. [9]



Obrázek 21: Ochranný pásek pažnicového spoje (Zdroj: Bhge.com)

3.4.5 Hydraulika ve vrtu

Ve srovnání s konvenčním vrtáním s technologií CwD, pažnice s velkým průměrem zvětšuje celkovou vnitřní plochu toku výplachu a snižuje tok v mezikruží. Větší průměr poskytuje malý pokles tlaku uvnitř pažnic, ale zvyšuje se v mezikruží. To znamená, že ECD může být vyšší, což může být alarmující, zejména při vrtání horizontálních vrtů. Proces pažnicového vrtání však využívá vyšší ECD k tomu, aby působil proti kolapsu vrtu, čímž se zlepšila stabilita vrtu.

Omezený průtok výplachu v mezikruží vrtu poskytuje dostatečnou rychlost, s relativně nízkou litráží ve vrtu pro efektivní čištění, ale na druhé straně, průtok je důležitý pro správnou funkci dláta na počvě vrtu.

V důsledku toho byla hydraulická energie hlavní složkou výkonu používanou k optimalizaci účinnosti vrtání systému jako alternativy k mechanické energii. Proto se všichni nejvíce zaměřují na zajištění dostatečného množství hydraulické energie k očištění dláta a rychle odstranit úlomky, aby nedocházelo k hromadění uvnitř mezikruží a v těsných místech vrtu a aby se snížila celková spotřeba energie. [9]

Nejčastěji používaná technologie pažnicového vrtání má cirkulační kapalinu s ekvivalentní účinnou hustotou (ECD), která je vyšší než u konvenčního vrtání. Proto není rozumné, aby se tento způsob aplikoval na většinu vrtů, takže v důsledku toho byl vyvinut hydraulický model, kdy začerpávání výplachu vnitřním průměrem bylo vyšší, a mezikruží bylo těsné. Hydraulický model v mezikruží má vliv na excentricitu a rotaci tyčí v těsném mezikruží. Vysoký průtok vrtání a hydraulická energie (hydraulický výkon) zvýší rychlost vrtání v měkkých útvarech na povrchu. Rychlost vrtání se může zvýšit až o 78% oproti předchozímu, pokud se zvýší objemový průtok až na 800 gpm (3028 lpm) s vrtaným průměrem 17 1/2“ a pažnicovou kolonou 13 3/8“. [9]

Hydraulická konstrukce pro vrtání s pažnicemi pro sekce 13 3/8“ a 18 5/8“. Jsou uvedeny v Tabulka 6.

Tabulka 6: Vypočítané hydraulické parametry s různou objemovou litráží

| Parametry | Jednotky | Vrtání s pažnicemi 13 3/8“ v 750 metrech | | | Vrtání s pažnicemi 18 5/8“ v 894 metrech | | |
|---------------------------|--------------------------|--|-------|-------|--|-------|-------|
| Litráž | m³/min | 3.8 | 3.4 | 3.0 | 3.8 | 3.4 | 3.0 |
| | gpm | 1000 | 900 | 800 | 1000 | 900 | 800 |
| Tlak na VT | kPa | 13700 | 11200 | 8986 | 8935 | 7299 | 5838 |
| | psi | 1992 | 1629 | 1303 | 1296 | 1059 | 847 |
| Tlak na pažnicích | kPa | 34 | 34 | 21 | 68 | 66 | 64 |
| | psi | 5 | 5 | 3 | 9.7 | 9.4 | 9.14 |
| Tlak na počvě | kPa | 12545 | 10159 | 8028 | 7561 | 6053 | 4713 |
| | psi | 1819 | 1473 | 1164 | 1096 | 877 | 683 |
| Tlak v mezikruží | kPa | 566 | 545 | 524 | 706 | 689 | 670 |
| | psi | 82 | 79 | 76 | / | / | / |
| Hyperspektrální zobrazení | HP/in² | 4.47 | 3.26 | 2.29 | 1.71 | 1.23 | 0.84 |
| Proudění trysek | m/sec | 148 | 133 | 118 | 111 | 99 | 88 |
| | ft/sec | 484 | 436 | 387 | 365 | 326 | 288 |
| ECD na počvě | kPa/m | 12.34 | 12.34 | 12.23 | 13.29 | 13.27 | 13.25 |
| | ppg | 10.5 | 10.5 | 10.4 | 11.3 | 11.3 | 11.3 |
| Proudění v mezikruží | m/min | 59 | 53 | 47 | 55 | 49 | 43 |
| | ft/min | 192 | 173 | 154 | 179 | 161 | 142 |

3.4.6 Analýza krouticího momentu a odporu

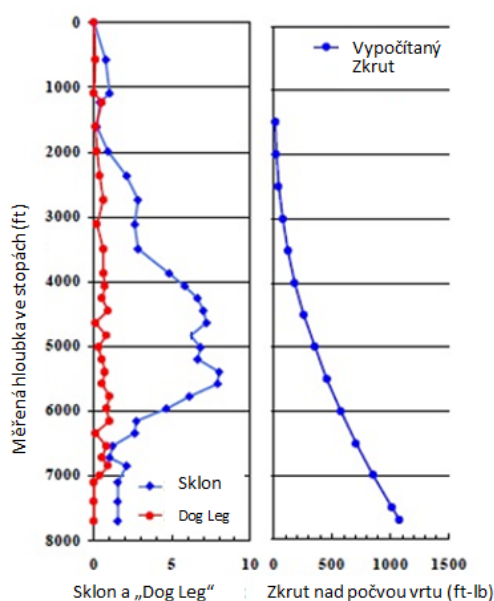
Krouticí moment a odpor (otěr) jsou vyvolány třecími silami působícími mezi vrtem a pažnicovou kolonou. Pozoruhodnější je v usměrněných vrtech, kde větší kontaktní plocha má následek laterálních

vibrací. Udržováním dobrých otáček kolony (RPM) v různých změnách formací, aby se zabránilo přirozené frekvenci, je také důležitým faktorem.

V mnoha situacích s větším průměrem pažnic je souhrnná normální síla při pažnicovém vrtání v usměrněných vrtech větší než při vrtání vrtnými tyčemi, protože hmotnost pažnic je větší. Efektivní průměr pažnic je také větší než pro vrtání vrtnými tyčemi. Oba tyto efekty mohou přispívat k vyššímu zkrutu na koloně s pažnicemi. Pokud je vrt „klikatý“, může tuhost pažnic také přispívat k vyššímu zkrutu. [8]

Konstrukce pažnicové kolony pro směrové vrty vrtané pažnicemi může vyžadovat více centrátorů než ve vertikálních vrtech. Usměrněné vrty mají více bočních sil a jsou náchylnější k diferenciálnímu lepení.

Protože kontakt mezi centrátorem a stěnou vrtu vytváří točivý moment a vede k opotřebení centrátorů, Warren T. prokázal korelaci mezi daty zrychlení zaznamenanými ve vrtu a točivým momentem na povrchu, jak je znázorněno na Obrázek 22, což podporuje toto vysvětlení, že příčné vibrace byly zodpovědné za krouticí moment, opotřebení a maximální únavové poškození pažnic, které se objevilo v prvním vrtaném vrtu v oblasti Wamsutter. [8]



Obrázek 22: Sklon a krouticí moment (Zdroj: Bhge.com)

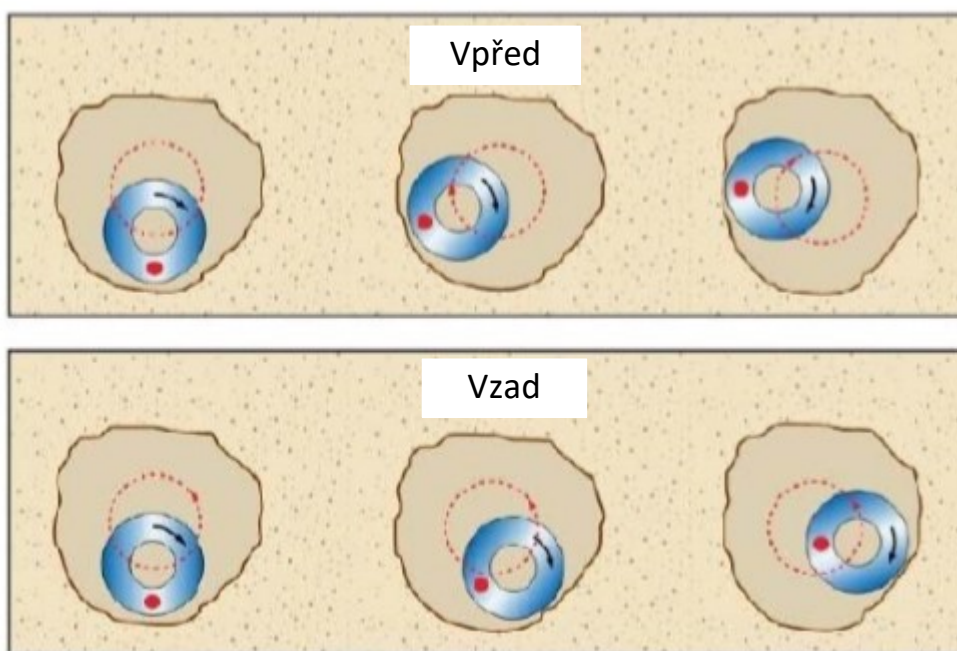
Díky vývoji technologie jsme schopni použít různé sofistikované programy pro podrobné analýzy a zlepšení integrity vrtů.

3.4.7 Vibrace pažnicové kolony

Vibrace pažnicové kolony je přirozený, nikdy ne na 100% vyřešený, problém v historii vrtného inženýrství. Je známo, že existují tři základní modely vibrací a jejich kombinace. Při pohledu na osu šíření - působení vibrací, jsou axiální - poskakování dláta (bit bounce model), laterální – víření dláta / sestavy (bit / BHA whirl model) a torzní - (Stick slip model).

Všechny modely mají specifický dopad na účinnost vrtání, rychlost vrtání (ROP), únavu, poškození zařízení a nestabilitu vrtu. Vibrace jsou způsobeny mnoha faktory při vrtné operaci a představují větší výzvu při vrtání s pažnicemi, jsou slabší než konvenční vrtné sestavy.

Výskyt laterálních vibrací a víření (Obrázek 23) je pozorován v celé trajektorii vrtu, zejména v místech s největším nábojem křivosti. [8]



Obrázek 23: Směr pohybu sestavy (BHA) ve vířivém modelu (Zdroj: Drillingformulas.com)

4 Zhodnocení provozních zkušeností s technologií „vrtání za současného pažení“

Tato část méj diplomové práce představuje a diskutuje výsledky prvního nasazení nově vylepšeného 7“ vrtání metodou pažení během vrtání na projektu ve Francii pro firmu (IPC). Vrtání probíhalo zapuštěním systému SDL – Steerable Drilling Liner (usměrněné vrtání závěsu) byl vyvrtán trojrozměrný směrový cíl s pažnicemi 7“ s průměrem vrtu 8 ¾“. Vrt byl vrtán přes vysoce nestabilní část, která se nacházela nad ložiskem ropy. Břidlice tohoto úseku byly narušeny pravděpodobně prehistorickým sesuvem půdy, majícím za následek nesoudržnost hornin. Tyto sekce se následně při vrtání ve vysokých úhlech ukázaly mechanicky nestabilní. Průzkumné vrty v oblasti určily, že konvenční metody vrtání a pažení neumožňují úspěšné dokončení těchto plánovaných vrtů. K úspěchu projektu potřebovali systém, který by zaručil bezpečné vyvrtání do ložiska a udržel dobrou mechanickou integritu. Provozovatel se rozhodl nasadit nejnovější verzi směrovacího systému pažnic, který bude usazen v úvodní koloně jako závěs (Liner), protože konstrukce tohoto systému vrtání naznačila vyšší výkonový potenciál s více bezpečnými možnostmi pro řízení rizik, které tento interval představoval.

Nový systém používá 4 ¾“ pilotní vrtnou sestavu (BHA) s rozšiřovačem, který je schopen přibrat pilotní průměr vrtu od 6“ na 8 ¾“ pro 7“ pažnice lineru, toto všechno probíhá současně s vrtáním vrtnými tyčemi. Návrh rozšiřovače a jeho mechanicky ovládanými rameny byl přizpůsoben, aby minimalizoval poruchy vrtání a optimalizoval rychlost vrtání. Byly použity speciální provozní postupy pro nasazení tohoto systému, měření pomocí nástroje měření při vrtání (MWD) pod ponorným motorem a vrtání až se třemi řeznými částmi v jeden moment (dláto, rozšiřovač a vrtná korunka na pažnicích). Byl prokázán nový koncept cementování závěsu pažnic (liner), který zvyšuje spolehlivost a poskytuje flexibilitu pro různé možnosti pro nepředvídané události ve vrtu.

Nasazení tohoto systému vrtání na Aljašce prokázalo, že vysoce rizikové sekce přetížení byly současně usměrněné při vrtání a vyhodnocovány pomocí mapování hornin při vrtání (LWD) – Logging While

Drilling, zatímco byly zajištěny pažnicemi v horní části této vrtané části horniny. V prvních dvou vrtech bylo plánované 18-ti denní vrtání, které bylo dokončeno za 9 dní. Doba trvání vrtané sekce byla plánována na 10 dní, a byla dokončena v průměru za 2,5 dne bez jakéhokoli selhání vrtného a měřicího zařízení v sestavě, nebo vysokých dynamických dysfunkcí při zvyšování rychlosti vrtání (ROP – Rate Of Penetration) z 10 až 14 m / h. Po dovrtání přišlo na řadu cementování pažnic, které bylo úspěšné na obou vrtech, které se dalo srovnat s výsledky konvenčního cementování ve vrtech.

Tato část shrnuje a podrobně popisuje výsledky a funkce systému a ukazuje, jak mohou provozovatelům pomoci snížit provozní rizika a snížit náklady.

4.1 Důvody pro použití systému SDL

Průzkumy provedené na ložiskovém území prokázaly nestabilní a chaoticky narušený interval nad ložiskem, proto se pro otvorku přistoupilo k technologii vrtání SDL, neboť konvenční vrtné a dokončovací techniky by neumožnily úspěšně dokončit projekt. K úspěšnému odvrtání nového projektu byl potřeba systém, který by zaručoval úspěšné navrtání ložiska, trojrozměrné směrové umístění a dobrou mechanickou integritu ve vrtu.

Cílem programu bylo odvrtat nový vrt s horizontálním průnikem do ložiska a pokusit se maximalizovat vytěžení ložiska. Průzkum místa nad ložiskem prokázal, že nadměrné úsilí o konvenční metodu vrtání by mohlo být úspěšné, ale zmiňovaná narušená část nad ložiskem by se zhroutila před dokončením pažení a zacementováním pažnic.

Řízený závěs pažnic by umožnil vniknutí pažnic při vrtání do problematické části, čímž se eliminují vysoké rizika pažení po dovrtání. Se systémem byly splněny usměrněné části vrtu pro správné umístění kolony. Systém byl provozován na vrtných tyčích, neboť se odvrtávala jen problematická část břidlic. Hornina se ukázala jako nestabilní, jak se předpovídalo, ale integrita po umístění pažnic a nízkým prouděním cementu při cementování bylo dosaženo vynikajících výsledků bez ztrát nebo uvíznutí. Bez této dobré integrity by byla zvýšená obnova projektu ohrožena.

4.2 Konstatování o teorii a definicích

Zkušenosti operátorů s pažnicovým vrtáním podporovaly teorii, že „smear effect“ (efekt otěru) při vrtání s větším průměrem pažnic v menším prostoru v mezikruží zabránili ztrátám výplachu, uvíznutí, obsednutí vrtných tyčí nebo zhroucení stěn ve vrtu v oblastech s těmito problémy během konvenčních vrtných operací.

Omezení točivého momentu na pažnicové spoje (závity) zabránilo použití metody pažnicového vrtání v plánovaných hloubkách tohoto projektu. Únava spojů, rychlost vrtání, schopnost náboru zakřivení a dlouhodobá stabilita vrtu byly další zájmy této technologie.

Testování prvního usměrněného vrtání závěsu na obavy o utlumení točivého momentu a únavy kolony, probíhaly na vrtu GMT1 v Aljašce. Očekávané usměrnění tohoto systému splňovaly potřeby projektu. Tato schopnost zahrnovala nábor křivosti až téměř k horizontální části, kde byla pata pažnicového závěsu pro proniknutí do ložiska. Rychlost vrtání vrtu, nebyla tak očekávaná, že místo průniku do ložiska bylo v středové části, místo toho, aby se proniklo do ložiska na okraji. První verze rychlosti vrtání byla pomalá a očekávalo se, že vylepšení ve druhé verzi tento problém zlepší.

Testování nově vyvinutého integrovaného rozšiřovače pro druhou verzi usměrněného vrtání závěsu proběhlo na vrtu CD5 na Aljašce. Na pažnicové koloně 4“ před nasazením na vrtu GMT1. Dynamika systému byla měřena v reálném čase a v zaznamenaném režimu na horní části pažnicového závěsu a spodní části pažnicové kolony, aby byla zajištěna stabilita při vrtání. Toto testování vedlo k optimalizaci lopatek rozšiřovače a jejich zdokonalenému postupu otevírání.

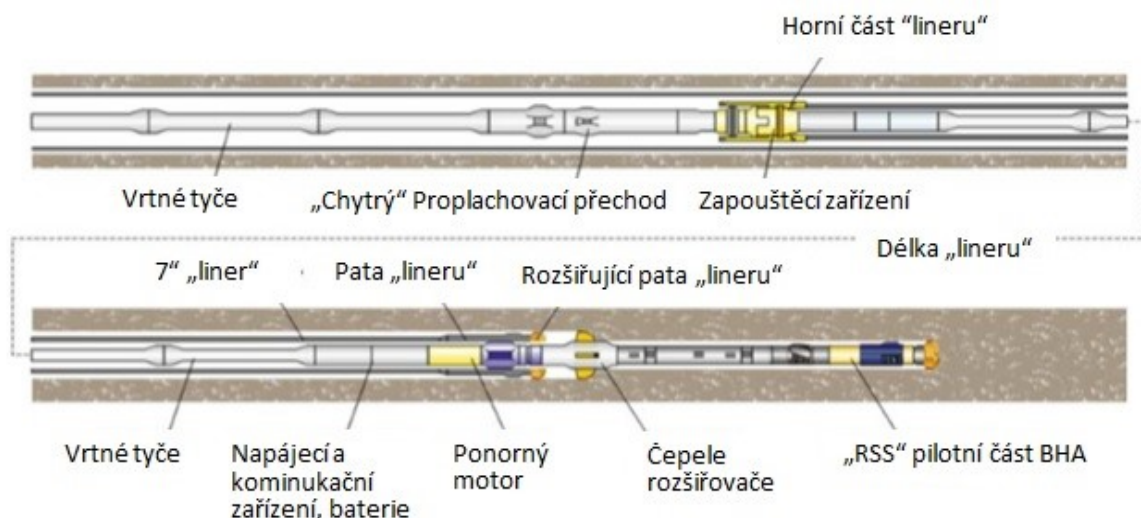
Konečným, neprokázaným bodem při realizaci projektu na Aljašce bylo umístění cementu pro integritu vrtu. Předpokládalo se, že systém zmírní problémy se stabilitou mezi vrtnými a cementačními operacemi s „smear effect“, řízenou tlakovou technologií a odstraní mechanický dopad spoje vrtných tyčí. Nebylo známo, zda by tato zmírnění byla úspěšná až do prvního rozvinutí. [8]

4.3 Popis aplikovaného zařízení a procesů

První verze 7“ SDL - systému řízeného směřování vrtné kolony. Systém zahrnuje rotační řiditelnou spodní část vrtné kolony (BHA). Liner je veden paralelně s vnitřní vrtnou částí BHA, která je vně daného průměru pažnic. Rozšiřovač, který je připojen na otočném kloubu k lineru a ponornému motoru uvnitř lineru na vrtné tyči, slouží k rozšíření pilotního otvoru z 6“ až do 8 ½“ pro pažnice 7“.

Hlavním krokem druhé verze je použití rozšiřovače s rozpínatelnými lopatkami jako primárního zařízení pro rozšíření otvoru. Rozšiřovač může rozšířit pilotní díru na 8 ¾“, což má za následek větší mezikruží u lineru a menší omezení ECD. Další výhodou ve srovnání je možnost výměny částí BHA, pokud jde o rozšiřovač nebo o dláto, jedná-li se o delší nasazení těchto nejvíce namáhaných částí v dlouhých a abrazivních sekcích. Čepele rozšiřovače mohou být zasunuty a vnitřní část BHA vně pažnic může být tažena ven, aby se vyměnily čepele nebo dláto a jiné části BHA, aniž by bylo nutné táhnout ven i pažnicový liner. Rozšiřovač obsahuje svůj vlastní aktivační modul, který umožňuje neomezené rozšíření a zatažení čepele pomocí signálu, který je mu zaslán z povrchu.

Obrázek 24 ukazuje schémata systému. Horní část lineru 7“ je zobrazena v horní části obrázku, pilotní BHA a pata jsou znázorněny níže. Jsou odděleny délkou lineru a vrtnými tyčemi. Pilotní BHA zahrnuje rotační řiditelné zařízení, MWD a volitelné LWD a části pro optimalizaci vrtání.



Obrázek 24: SDL – Steerable Drilling Liner Systém (Zdroj: Bhge.com)

Rozšiřovač je umístěn pod patou lineru. Aby se snížilo vystrčení pilotního BHA z lineru pažnic, protože uvnitř lineru zůstává ponorný motor, napájecí a komunikační zařízení a baterie.

Pata lineru má stále připevněnou vrtnou korunku, která slouží jako rozšiřovač, ale na rozdíl od předchozích verzí je to přímo spojeno s patou a nerozpojuje se otočným ústrojím. Tato část lineru slouží jako sekundární zařízení pro otevírání a rozšiřování otvorů. Má průměr 8 ½“ (OD) a projde vnitřním průměrem pažnic 9 5/8“, které jsou zapaženy a zacementovány například v úvodní koloně.

Vrchní část lineru zůstává nezměněna. Liner je spojen s kolonou vrtných tyčí přes zapouštěcí zařízení (Running tool), které slouží pro přenos točivého momentu a hmotnosti. Nad linerem je inteligentní cirkulační kus (Smart Circulation sub), který slouží k dílčímu obtoku. Pomocí tohoto cirkulačního kusu můžeme rozdělit, kolik procent výplachu nám půjde přes ponorný motor, aby nedošlo k jeho poškození, a zbylá procenta půjdou přes tuto část přímo do mezikruží. K otevření prstence na tomto kusu dojde opět na příkaz, který je zaslán z povrchu.

Systém je sestaven na povrchu tak, že nejprve se zapustí pažnicový liner, který je usazený v klínech v rotačním stole. Poté se zapustí vnitřní kolona s BHA a vrtnými tyčemi, která jsou uvnitř tohoto lineru pomocí

nepravého rotačního stolu. Pak, jsou obě části (pažnicový liner a vrtné tyče) spojeny na horní části lineru, je přidána dílčí část inteligentního oběhu výplachu a systém může být zapuštěn do vrtu. Pokud je systém nasazen v předvrtaném vrtu, lze touto kolonou otáčet z povrchu a použít rozšiřovač k odstranění případných překážek a zajistit, aby systém bezpečně dosáhl počvy vrtu.

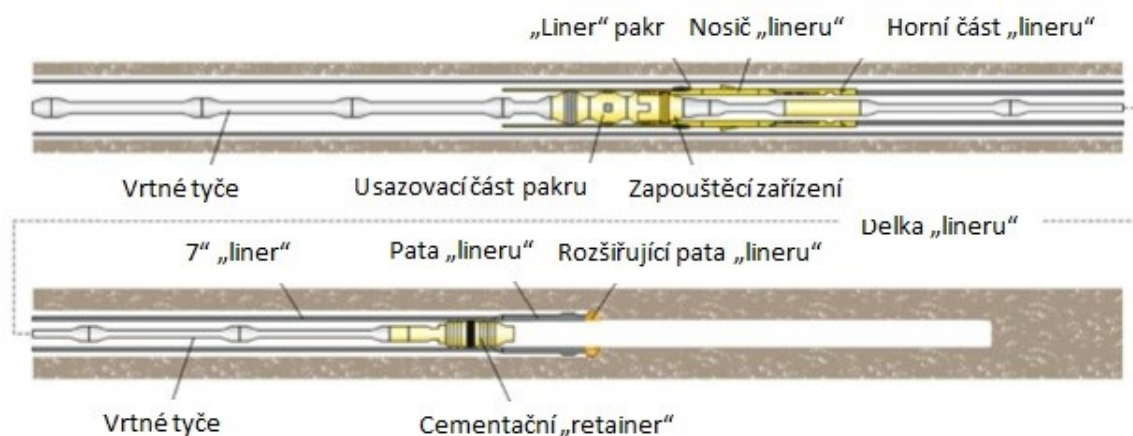
Spustí se cirkulace a pilotní otvor o průměru 6“ je vrtán. Když část, kde je rozšiřovač, vstoupí do pilotního otvoru, čepele rozšiřovače se roztáhnou. Správná stabilizace je nezbytná pro snížení vibrací při rozšiřování. Tento aktivací postup byl optimalizován během prvních čtyř nasazení SDL. Když je pata lineru uvnitř nové formace, lze parametry upravit tak, aby optimalizovaly ROP. Otočné řiditelné zařízení zajišťuje směrové řízení (RSS), odezvy řízení jsou podobné jako u standardní BHA. Ponorný motor otáčí pilotní BHA rychlostí 100 až 150 ot/min (RPM). Kromě toho lze celý systém otáčet z povrchu, aby se snížilo prokluzování. Napájecí a komunikační zařízení poskytuje elektrickou energii BHA a obousměrnou komunikaci s povrchovou jednotkou. Bateriová část napájí BHA při provádění průzkumů, když se necirkuluje.

Rozšiřovač zvětší pilotní otvor z 6“ až do 8 ¾“, poskytující dostatečný průměr pro pažnicový liner 7“, kdy je zajištěn dostatečný průtok v mezikruží pro správné udržení ECD. Čepele rozšiřovače jsou vybaveny nejmodernější technologií řezných struktur a poskytují vynikající míru penetrace a odolnost proti opotřebení. Při vrtání tří vrtů byly použity dvě sady čepelí. Sady čepelí jsou stále v provozu.

Průtok je omezen 4 ¾“ vnitřním průměrem vrtného nářadí a omezení ECD podél lineru. Pro umožnění dostatečného čištění vrtu uvnitř 9 ⅝“ pažnic. Pokud je tento průměr pažnic nad systémem SDL, inteligentní cirkulační kus může být otevřen pro zvýšení rychlosti toku v mezikruží. Slabší část toku prochází skrze trysky dřáta a pokračuje ve směru nahoru. Rozdělení toku lze nastavit instalací různých velikostí trysek. Nástroj je aktivován jednoduchými příkazy z povrchu a počet aktivací je neomezený.

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Poté, co byl systém SDL dovrtán do TD, je uvolněn zapouštěcí systém lineru a vnitřní část vrtných tyčí s BHA je vytažena. Cementování je dokončeno poté, co jsou tyče s BHA vytaženy na povrch a je zapuštěna cementační sestava. Schémata pracovních částí jsou znázorněna na Obrázek 25. Obsahuje závěs lineru (Liner Hanger), pakr a cementační mechanický mostek (Cement Retainer).



Obrázek 25: Cementační postup (Zdroj: Bhge.com)

Vrtné tyče jsou zapouštěny do vrtu, dokud sestava nenajede do kotevního místa s těsněním (Liner Hanger) a kotevní místo nezapadne do horního konce lineru a nezajistí se do protilehlého profilu. V této poloze je Cement Retainer umístěn v blízkosti paty lineru a poskytuje tak dostatek cementu uvnitř spodní části lineru. Poté co je zapouštěcí zařízení uvolněno je Cement Retainer upevněn na svém místě a může začít cementování. Po dokončení cementačního procesu je kolona vrtných tyčí pozvednuta a zpětný ventil, který je v Cement Retaineru se uzavře. Kolona se povytáhne, dokud není usazovací část pakru mimo liner.

Hlavními výhodami tohoto cementačního systému jsou robustnost a jednoduchost a různé možnosti pro nepředvídané události. Poučení z předchozích pokusů naznačila, že více hydraulických ovládacích prvků může vést k poruchám a dalším neplánovaným tažení/zapouštění vrtného náradí. Nastavení Cement Retaineru a mechanického pakru je mechanické, vyžaduje pouze otáčení a povytažení / zapuštění.

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Obvyklé postupy vrtání pro aplikace s rozšiřovačem vyžadují udržování rotace rozšiřovače pod 60 RPM při otevírání nožů rozšiřovače. U systému SDL je rozšiřovač umístěn pod ponorným motorem, což znamená, že tento postup nelze dodržet. Zkušenost ukázala, že otevření rozšiřovače ve velkém průměru při rychlém otáčení může způsobit vážné vibrace a poškození nástroje. V důsledku toho byl postup otevírání nožů rozšiřovače upraven pro aplikaci SDL, takže rozšiřovač musí být otevřen uvnitř pilotního otvoru, kde nože přímo stabilizují nástroj ve vrtu, jakmile jsou mírně vysunuty mimo tělo nástroje. RPM by se přitom mělo udržovat na minimu, aniž by došlo k zastavení ponorného motoru.

4.4 Využití systému SDL ve Francii

V Pařížské pánvi, východně od Paříže byl naplánován vrt, který měl sloužit k dlouhodobé produkci ropy. V plánu bylo nejprve ověřit mocnost ložiska, která dle předchozích měření měla být pouze 3 m. Ropa, která se zde těží od roku 1985, pochází z triasických rhaetských pískovců.

Navržený vrt je prvním horizontálním vrtem společnosti Rhaetic ve Francii. Je navržen s pilotním otvorem ve tvaru „S“, kde spodní část vrtu bude vrtána jádrovací technologií pro výzkum, a poté bude zacementována. Vrt pak bude dokončen horizontálním úhybem o průměru 6 " s délkou 400 m. Pilotní část vrtu o průměru 8 ½" poslouží k vyhodnocení mocnosti ložiska ve vstupním bodě a pomůže při určení správného nasměrování horizontální části vrtu.

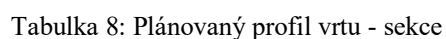
V pilotní, 8 ½" části vrtu bude odebráno 36 m jádra o průměru 4". Jádrovanou oblastí je interval Rhaetic. Jádro bude vybráno geologem vrtu na základě změny formace mezi částí pískovce A1 a pískovcem B1, aby bylo zajištěno navrtání celého intervalu B1 až D1, které je požadováno geology.

Očekává se, že mořská rhaetika se bude střídat mezi 40 m mocnými měkkými břidlicemi a kompaktním pískovcem. Břidlice jsou nestabilní, zejména v horní části kolektoru. Horní břidlice (formace Argiles de Levallois) jsou nejméně stabilními břidlicemi. Břidlice Argiles de Levallois kolem ložiska mají mocnost 3 - 4 m. Je to nejvyšší značka intervalu Rhaetic.

Rhaetic je pak složen ze sekvence 7 pískovcových částí (A, B1, B2, C, D1, D2, D3). [7]

Celé intervaly ložiska B1 až D1 musí být odjádrovány. Výběr místa jádrování může být v mělké hloubce, ale neměl by ohrožovat vstup do horní části ložiska B1 a navázání k základní části D1. Při nadstavování vrtných tyčí je třeba dbát na pomalé usazování kolony do klínů v rotačním stole, aby se nevyvolaly vibrace, které by se přenesly až k jádrovací sestavě (během operací odebrání jádra nebo tažení s jádrem). Rovněž je třeba kontrolovat rychlost tažení (POOH), aby bylo zajištěno, že se jádro nevysype z jádrovnice a nedojde k jeho popraskání.

Tabulka 7: Plánovaný profil vrtu



4.5 Vrtání sekce 7“ „Steerable Drilling Liner“ (SDL)

Technologie SureTrak od společnosti Baker Hughes kombinuje rotační řiditelný systém s linerem, který pomáhá překonat problémy při vrtání nestabilních vrstev břidlic (Obrázek 26).

Zapouštění lineru při současném vrtání eliminuje potřebu tažení vrtné kolony a poté zapuštění pažnicové kolony, kdy by v tomto časovém intervalu zůstaly stěny vrtu otevřené, a hrozil by tak kolaps vrtu.

Protože je liner izolován od rotační části BHA a jeho 8 ¾“ rozšiřovače, může se liner otáčet při mnohem nižších otáčkách než řídící část BHA. Tato konstrukce snižuje zatížení lineru a zlepšuje jeho únavovou životnost na spojích.

Pilotní část BHA trčící mimo linii lineru byla co nejvíce zkrácena. Zahrnuje 6” dláto, řídící jednotku (RSS), azimutální Gama Ray nástroje, záznam vrtacích parametrů (Copilot) a 8 ¾“ pod rozšiřovačem. [8]

Zbytek BHA je uvnitř 7” lineru. To zahrnuje motor (PDM), bateriový díl, komunikační a napájecí díl, řídící díl rozšiřovače a vnitřní kolonu vrtných tyčí 4”.

Vnější kolona se skládá z vrtných tyčí až po spoj 7“ lineru, kde spodní část kolony zapadá do horní části 7“ lineru, kde se nachází rychlospoj.

Vnější kolona se skládá z 5“ vrtných tyčí a vnitřní kolona ze 4” vrtných tyčí. Mezi nimi je umístěn rozdělovač toku výplachu (Divertor Sub), který zlepšuje čištění vrtu nad systémem SDL a zajišťuje požadovaný tok pro ponorný motor v BHA.

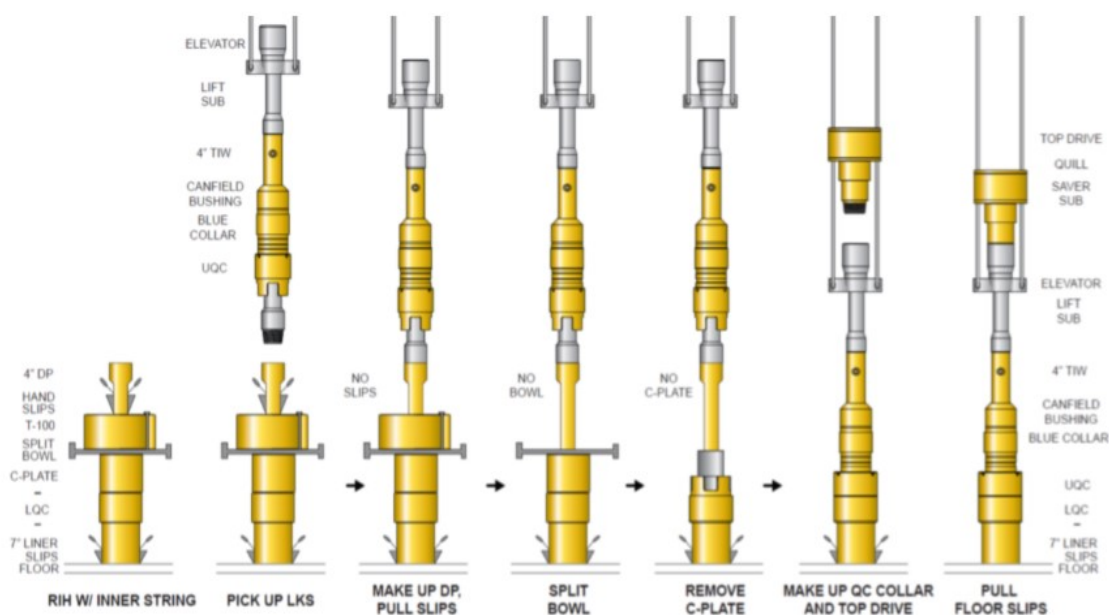
4.5.1 Postup při zapouštění lineru a BHA (Obrázek 27)

1. Liner je zapuštěn do vrtu a zavěšen pomocí klínů v rotačním stole. Na prvních pár kusů (než dostatečně naroste váha vrtné kolony) se používají bezpečnostní stisky, aby nedošlo k protočení klínů v rotačním stole.



Obrázek 26: SDL BHA (Zdroj: Bhge.com)

2. Na horní část lineru, kde se nachází rychlospoj (Quick Connect) je umístěna deska – „C-plate“.
3. Na pracovním povalu se vytvoří falešný rotační stůl a dovnitř se zapustí vrtné tyče 4“. Jejich délka musí odpovídat délce lineru a musí se počítat i s částí, která musí trčet mimo 7“ liner. Na tuto část navazují vrtné tyče 5“.
4. Pilotní BHA je připevněno k lineru pomocí zapouštěcího nářadí „Running Tool“, v místě rychlospoje.
5. Směrové vrtání se pak provádí s nízkou rychlostí rotace, kde rotaci lineru zajišťuje TDS tak, aby se překonalo kluzné tření a zlepšilo se čištění vrtu. Pilotní BHA je poháněno ponorným motorem a řízeno pomocí RSS. Parametry vrtání jsou čteny z pilotních nástrojů v BHA - MWD.
6. Nábor křivosti (Dogleg) je limitován na 5° / 30 m.
7. Jakmile je dosaženo konečné hloubky (TD), je zapouštěcí část lineru uvolněna, pilotní BHA je vtaženo do lineru 7“ a následně taženo na povrch. Liner 7“ zůstává na počvě, což zabraňuje kolapsu vrtu.



Obrázek 27: Zapuštění lineru a BHA v rotačním stole (Zdroj: Bhge.com)

Liner 7" a vrtná sestava (8 3/4" průměr vrtu pro pažení) využívala dláto od firmy Baker (6" Matrix PDC se 6 břity a 13 mm frézami - IADC M233). Délka rozchodu je omezena na 2" pro zlepšení účinnosti řízení SDL. Konfigurace obrysu a bitový profil pro správně směřování byly navrženy tak, aby poskytovaly nejlepší reakci na boční síly řídicí jednotky RSS a zejména aby pronikaly tvrdším pískovcem B1 poblíž horizontální zóny usazení lineru, aby se tak vyrovnala tendence BHA zůstat v mnohem jemnějším nadloží břidlicové formace. Během vrtání finální sekce může dláto PDC vrtat tvrdší pískovec B1, zatímco spodní výstružník vrtá přesahující měkké břidlice. [7]

5 Závěr

Od začátku své aplikace přinesla technologie pažení za současného vrtání řadu výhod v průmyslu O&G. Nejprve, s neměnitelným systémem pažnic a konvertibilní vrtnou patou pažnic při vrtání, potvrdila své výhody, ale také odhalila nové problémy, které bylo často nutno řešit v průběhu vrtání. Stejně jako v případě konvenčního vrtání bylo logickým zlepšením technologie po vertikálních vrtech implementace technologie do směrového vrtání. Implementace CwD do směrových vrtů vyústila ve vývoj vyměnitelných systémů, jejichž aplikace ukázala ještě lepší výsledky ve snižování nákladů a vrtných výkonech.

Problematika vývoje CwD se od začátku zaměřila hlavně na vrty, které jsou ekonomicky výhodné, ale s velmi problematickými nesoudržnými horninami nad ložisky ropy a plynu. Největší světové korporace dlouhodobě investovaly obrovské finance na vývoj tohoto systému, kvůli zvýšení několikanásobné produkce uhlovodíků ze sond, které před tímto systémem mohly být odvrtny technologií vertikálního vrtání, ale těžba by zůstala značně nižší a tím pádem v současnosti ekonomicky nevýhodná. S vývojem této technologie se muselo přizpůsobit k novému systému a vývoji materiálů široké spektrum firem v ropném průmyslu jako jsou výrobci vrtných dlát, pažnic, cementační firmy, výplachové firmy a hlavně firmy s technologií usměrněného vrtání. Na závěr bych chtěl konstatovat, že tato technologie byla vyvinuta hlavně pro ověřené a již odvrtná ložiska, které mají velkou kapacitu těžby, ale velmi problematickou geologickou strukturu nad ložisky uhlovodíků. Proto se některé těžební firmy rozhodly investovat nemalé finanční prostředky do této technologie vrtání, která však po úspěšném navrtání daného ložiska novým systémem ekonomicky zvýhodnila těžbu a vytěžitelnost ložiska.

Vrtání za současného pažení představovalo jedno z největších vylepšení v oblasti vrtného inženýrství. Jedná se o nákladově efektivní technologii s menším množstvím nezbytného vrtného zařízení, s vyšší účinností a bezpečnějším průběhem.

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

Všechna tato úsilí a znalosti vedly ke snížení nákladů souvisejících se všemi operacemi s vrtnou kolonou, ke snížení problémů s tažením a zapouštěním, ke snížení časových prostojů (Non-Productive Time - NPT) a zejména ke snížení celkového času potřebného pro vyvrtání těchto složitých vrtů. Snížené kapitálové a logistické náklady, které lze přičíst ke snížení nákladů na soupravu, nižší potřebný výkon vrtné soupravy, nižší spotřeba paliva a pracovní síly, to jsou jen některé z výhod. Na tomto vývoji se podílelo celé odvětví O&G.

V roce 2019 byla tato technologie poprvé využita ve Francii na ložisku Vert Toulon v oblasti Champagne, kde se podařilo zvýšit produkci ze 40 m³ ropy denně na 120 m³ ropy. Z tohoto důvodu se těžební firma rozhodla tímto systémem navrtat všechna ložisková pole s touto problematickou geologickou strukturou, aby dosáhla co nejekonomičtější využitelnosti ložiska.

Vlivem nízké ceny ropy je v současnosti zpomalen další rozvoj technologií pro vrty na ropu a zemní plyn, ale dochází k většímu zaměření na rozvoj geotermálního vrtání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GABOLDE, G.; NGUYEN, J.-P.: Drilling data Handbook. Editions TECHNIP, Paris, France, 2014. ISBN: 978-2-7108-0971-5
- [2] LYONS, W.; CARTER, T.; LAPEYROUSE, N.: Formulas and Calculations for Drilling, Production and Workover. Elsevier, USA, 2012. ISBN: 978-1-85617-929-4
- [3] ZEMAN, V.; PINKA, J.; KLEMPA, M.; STRUNA, J.: Technika a technologie vrtných prací – I. díl Technika pro provádění vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3
- [4] ZEMAN, V.; PINKA, J.; KLEMPA, M.; STRUNA, J.: Technika a technologie vrtných prací – II. díl Základy technologie vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3
- [5] <https://www.odfjellwellservices.com/tubular-running-services/tubular-running-services-tools/casing-running-tool-crti/>
- [6] www.mnd.cz
- [7] IPC – Interní materiál
- [8] Baker Hughes – Interní materiál
- [9] <https://www.spe.org/en/>

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|------|--|
| BHA | - spodní část vrtné sestavy (Bottom Hole Assembly) |
| NOV | - národní olejový vrt Varco (National Oilwell Varco) |
| CwD | - vrtání za současného pažení (Casing While Drilling) |
| CDS | - vrtání a pažení (Casing Drive/Drilling System) |
| CRT | - proplachovací hlava pažnic (Circulating Rotating Head) |
| CT | - vinuté stupačky na cívce (Coiled Tubing) |
| CTD | - technologie vrtání s CT (Coiled Tubing Dilling) |
| DLA | - vrtný zámek v sestavě (Drill Lock Assembly) |
| DWD | - směřování v průběhu vrtání (Directional While Drilling) |
| ECD | - váha výplachu na počvě vrtu během cirkulace (Equivalent Circulation Density) |
| EOB | - konec náboru křivosti (End Of Build) |
| GO | - generální oprava |
| GK | - gama karotáž |
| HSC | - délka pažnice se závitem, vysokopevnostní pouzdro (High Strength Casing) |
| KOP | - začátek náboru křivosti (Kick Of Point) |
| LWD | - karotážní měření v průběhu vrtání (Logging While Drilling) |
| MND | - Moravské naftové doly |
| MWD | - měření v průběhu vrtání (Measurement While Drilling) |
| NPT | - neplacený čas soupravy (Non Productive Time) |
| OBD | - vrtání s tlakem nižším než je tlak vrstevní (Over Balanced Drilling) |
| Obr. | – obrázek |
| OD | - venkovní průměr (Out Diameter) |
| OGD | - ropa a zemní plyn (Oil and Gas Development) |
| PDM | - objemový ponorný motor (Positive Displacement Motor) |
| PM | - ponorný motor |

Bc. Filip Ševčík: Využití technologie „vrtání za současného pažení“ pro účely hloubení ropných vrtů.

| | |
|------|--|
| ROP | - rychlost vrtání za minutu (Rate Of Penetration) |
| RPM | - rychlost otáček za minutu (Revolutions Per Minute) |
| RSS | - směrový systém vrtání (Rotary Steerable System) |
| SDL | - vrtání s pažnicovou kolonou (Steerable Drilling Liner) |
| Tab. | - tabulka |
| t.j. | – to je |
| TDS | - (Top Drive System) |
| TVD | - skutečná vertikální hloubka (True Vertical Depth) |
| TD | - celková hloubka (Total Depth) |
| UBD | - vrtání s tlakem nižším než je vrstevní tlak – podrovnovážní vrtání (Under Balanced Drilling) |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Konvenční vrtání a pažnicové vrtání (Zdroj: Drillingformulas.com) | 3 |
| Obrázek 2: Způsob karotážního měření po dovtření pažnicové kolony (Zdroj: Drillingformulas.com) | 5 |
| Obrázek 3: Vrtná pata pažnic Weatherford (Zdroj: Weatherford.com) | 6 |
| Obrázek 4: Vsuvka pažnic (Zdroj: Drillingformulas.com) | 7 |
| Obrázek 5: Hydroformovaný pažnicový centrátor společnosti Schlumberger (Zdroj: Slb.com) | 8 |
| Obrázek 6: Levý obrázek zobrazuje svislé vrtání a obrázek na pravé straně usměrněné vrtání metodou (CwD) (Zdroj: Drillingformulas.com) | 10 |
| Obrázek 7: Vrtný zámek v pažnicové koloně DLA (Zdroj: Drillingformulas.com) | 12 |
| Obrázek 8: Automatizovaná vrtná souprava pro CwD (Zdroj: Bhge.com) | 14 |
| Obrázek 9: TDS – Top drive systém Bentec (Zdroj: Vlastní zdroj) | 16 |
| Obrázek 10: Vrtná souprava Bentec 250 AC (Zdroj: Vlastní zdroj) | 17 |
| Obrázek 11: CDS nebo CRT rotační a proplachovací hlava pažnic (Zdroj: Drillingformulas.com) | 18 |
| Obrázek 12: CDS – vnitřní a vnější připojení na pažnice (Zdroj: Drillingformulas.com) .. | 19 |
| Obrázek 13: CDS – CRT hlava od firmy Schlumberger (Zdroj: Slb.com) | 19 |
| Obrázek 14: Měření délky pažnice (Zdroj: vlastní) | 23 |
| Obrázek 15: Délka zašroubovaného závitu (Zdroj: Vlastní) | 23 |
| Obrázek 16: Celková délka pažnice (Zdroj: vlastní) | 24 |
| Obrázek 17: Interakce ovlivňující integritu pažnic během vrtání (Zdroj: Bhge.com) | 35 |
| Obrázek 18: Znázornění vyvinutého zkrutu na pažnicích (Zdroj: Bhge.com) | 36 |
| Obrázek 19: Znázornění „rigid“ centrátoru (Zdroj: Bhge.com) | 38 |
| Obrázek 20: Grant Prideco pažnicový spoj (Zdroj: Bhge.com) | 39 |
| Obrázek 21: Ochranný pásek pažnicového spoje (Zdroj: Bhge.com) | 40 |
| Obrázek 22: Sklon a krouticí moment (Zdroj: Bhge.com) | 42 |
| Obrázek 23: Směr pohybu sestavy (BHA) ve vířivém modelu (Zdroj: Drillingformulas.com) | 43 |
| Obrázek 24: SDL – Steerable Drilling Liner Systém (Zdroj: Bhge.com) | 48 |
| Obrázek 25: Cementační postup (Zdroj: Bhge.com) | 50 |
| Obrázek 26: SDL BHA (Zdroj: Bhge.com) | 55 |
| Obrázek 27: Zapuštění lineru a BHA v rotačním stole (Zdroj: Bhge.com) | 56 |